

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

Ю.М. Кострикин
Н.А. Мещерский
О.В. Коровина

Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления

СПРАВОЧНИК



МОСКВА ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ 1990

Предисловие	5		
Раздел первый. Водоподготовка и коррекционная обработка воды	7		
1.1. Общие сведения о воде . . .	7	2.2. Обучение персонала и проверка его знаний	70
1.2. Анализы воды и их проверка	9	2.3. Технадзор за монтажом и приемка из монтажа . . .	71
1.3. Роль примесей воды при ее использовании в энергетике . .	10	2.4. Составление исходной и оперативной технической документации	72
1.4. Предочистка. Методы и схемы обработки воды. Технологические и расчетные данные	12	2.5. Составление инструкций	73
1.5. Схемы обработки воды методами ионного обмена. Технологические и расчетные данные	21	2.5.1. Перечень технологических инструкций по водоподготовке, водному режиму энергообъектов и контролю за ними	73
1.6. Декарбонизация	39	2.5.2. Должностные инструкции персонала . . .	75
1.7. Обработка воды методами осаждения	40	2.6. Порядок пуска оборудования, составление графика предпусковых и пусковых работ . . .	75
1.8. Обезжелезивание артезианских вод	41	2.7. Важнейшие требования, предъявляемые к оборудованию и сооружениям	78
1.9. Обработка воды для тепловых сетей	42	2.8. Складское хозяйство и реагенты	82
1.10. Обработка конденсатов . .	49	2.9. Подготовка к пуску	83
1.11. Термический метод обессоливания	52	2.10. Обработка охлаждающей воды	85
1.12. Деаэрация питательной и подпиточной воды	53	2.11. Борьба с коррозией	86
1.13. Показатели качества воды после отдельных стадий ее обработки	56	2.12. Водно-химические режимы паровых котлов и теплоутилизационных парогенераторов (ТУПГ)	93
1.14. Выбор схем обработки воды	58	2.13. Установление эксплуатационных норм водно-химического режима паровых котлов и ТУПГ	100
1.15. Расчет загрязнений стоков ВПУ при различных методах обработки воды	60	2.14. Краткие указания по внутреннему осмотру паровых котлов с целью оценки их водного режима	102
1.16. Коррекционные методы обработки воды	64	2.15. Удаление отложений с внутренней поверхности нагрева паровых и водогрейных котлов, теплообменных аппаратов и трубопроводов	104
Раздел второй. Важнейшие сведения о пуске, наладке, эксплуатации водоподготовительных установок	70		
2.1. Персонал химических подразделений энергообъектов . .	70		

2.16. Защита окружающей среды	113	рах для контроля процессов накипеобразования и корро- зии	175
2.17. Объем ревизий и ремонтов водо- подготовительного оборудо- вания	120	3.13. Вырезка контрольных участ- ков и оценка состояния теп- лоэнергетического оборудо- вания	176
2.18. Общие указания по технике безопасности при работе на ВПУ	123	3.14. Растворы аналитических ре- активов	182
2.19. Условия эффективной эксплуа- тации ВПУ и ведения ВХР	126	3.15. Выписка из сводных норм расхода этилового спирта на аналитическую работу на предприятиях Мосэнерго	185
Раздел третий. Организация и проведение физико-химического контроля за работой водоподгото- вительного оборудования и вод- но-химическим режимом работы энергообъектов		3.16. Заменители лабораторных ре- активов	185
3.1. Значения и способы выраже- ния результатов анализов воды, отложений, реагентов	131	Приложения	188
3.2. Объем контроля за работой водоподготовительных уста- новок и ведением водно-хими- ческого режима энергообъек- тов	132	<i>Приложение 1. Некоторые химические соединения для обработки воды и химконтроля</i>	<i>191</i>
3.3. Аналитические определения при анализе воды	133	<i>Приложение 2. Свойства растворов, некоторых химических соединений (концентрация, нормальность, значе- ния pH)</i>	<i>193</i>
3.4. Организация химических ла- бораторий	135	<i>Приложение 3. Растворимость в воде составных частей воздуха</i>	<i>195</i>
3.5. Отборы проб. Отборные, транспортирующие и охлажда- ющие устройства, органи- зация отбора средних проб	144	<i>Приложение 4. Растворимость в воде реагентов для обработки воды</i>	<i>195</i>
3.6. Упрощенные методики опре- деления качества воды энерго- объектов	147	<i>Приложение 5. Плотность растворов химических соединений</i>	<i>196</i>
Визуально-органолептические определения	147	<i>Приложение 6. Температура замерза- ния водных растворов</i>	<i>198</i>
Количественные определения	148	<i>Приложение 7. Термодинамические свойства воды и водяного пара</i>	<i>199</i>
3.7. Электрометрический конт- роль концентрации ионизиро- ванных примесей воды и рас- творов реагентов	157	<i>Приложение 8. Качество воды при- родных источников</i>	<i>201</i>
3.8. Анализ сухих и жидких реа- гентов	166	<i>Приложение 9. Водно-химический ре- жим паровых котлов (выписка из Пра- вил Госгортехнадзора [41])</i>	<i>207</i>
3.9. Анализ товарных жидких и сухих технических реагентов	168	<i>Приложение 10. Водно-химический ре- жим котлов низкого давления, комму- нальных установок и котлов-утилиза- торов</i>	<i>213</i>
3.10. Отбор проб и упрощенный анализ отложений, образо- вавшихся на внутренних по- верхностях теплоэнергетичес- кого оборудования	169	<i>Приложение 11. Водно-химический ре- жим тепловых сетей (выписка из [44])</i>	<i>215</i>
3.11. Упрощенные методы исследо- вания свойств зернистых фильтрующих материалов	171	<i>Приложение 12. Нормы качества пере- гретого пара (согласно ГОСТ 20995—75 и ПТЭ Минэнерго)</i>	<i>218</i>
3.12. Применение индикаторов в тепловых сетях и конденсаато- рах для контроля процессов накипеобразования и корро- зии		<i>Приложение 13. Химические реагенты для обработки воды</i>	<i>218</i>
		<i>Приложение 14. Конструктивные и тех- нологические характеристики водопод- готовительного и теплотехнического оборудования</i>	<i>223</i>
		<i>Приложение 15. Защита оборудования от коррозии [44]</i>	<i>249</i>
		Список литературы	251

Состояние подготовки воды на энергетических предприятиях определяет не только их экономичность, но и их экологическое совершенство, точнее, степень их экологической безопасности. Если современные крупные энергопредприятия обычно обеспечены достаточно квалифицированным персоналом, соответствующими инструкциями и технической документацией, то малые энергетические объекты, число которых чрезвычайно велико, совершенно лишены и того, и другого. Вследствие этого уровень эксплуатации водоподготовительных устройств на таких объектах крайне низок, значителен перерасход водоподготавливающих реагентов, вызывающий излишне высокое количество вредных в экологическом отношении сбросов, низка экономичность эксплуатации, необоснованно велик расход природных вод и т. д.

Настоящая книга представляет собой справочник, предназначенный в основном для эксплуатационного персонала отопительных паровых и водогрейных котельных и различных теплоутилизационных установок. Материал справочника может быть использован и эксплуатационным персоналом тепловых электрических станций ТЭС, ТЭЦ, КЭС и др. Однако главнейшими адресатами этого справочного материала являются мелкие котельные и отопительно-производственные объекты, разбросанные по территории СССР в промышленных и сельскохозяйственных населенных пунктах.

В справочном пособии изложены следующие вопросы.

В первом разделе даны сведения о воде, ее свойствах, требованиях, предъявляемые к ее качеству различными потребителями, методы и выбор схем обработки воды, технологические данные для расчета оборудования и показатели качества воды на различных стадиях ее обработки.

Второй раздел посвящен организации эксплуатации ВПУ, ведению водно-химических режимов энергообъектов.

В третьем разделе приведены сведения об организации химического контроля, оснащении химических лабораторий, краткие указа-

ния по выполнению простейших и важнейших определений качества воды, отложений, реагентов, даны критерии для оценки состояния теплотехнического оборудования с точки зрения коррозии, накипе- и солеотложений.

В приложениях даны сведения о природных водах и водных растворах, о реагентах, применяемых в водоподготовке, о нормах качества воды для котлов паровых и водогрейных, тепловых сетей, испарителей и др.

В справочнике даны также технологические и конструктивные характеристики водоподготовительного оборудования, дан перечень важнейшей литературы по водоподготовке и водно-химическому режиму.

Для выражения концентраций авторы справочного пособия пользовались не только молярными, но и эквивалентными величинами, а также производными от них, т. е. миллимолярными, миллиэквивалентными, микроэквивалентными и т. д. Основанием для такого применения служило то обстоятельство, что молярные концентрации далеко не всегда применимы в технологии водоприготовления. Например, процессы ионирования, широко применяющиеся при обработке воды, сопровождаются обменом ионов с ионитными материалами, причем этот обмен происходит в эквивалентном соотношении. На один ион натрия поглощается не один ион кальция или магния, а только половина, т. е. эквивалент *.

* Как известно, эквивалентной массой называют такое количество вещества, которое в данной конкретной реакции отвечает одному атому водорода (или другого вещества, ему эквивалентного) либо переходу одного электрона в реакциях окисления (восстановления). Здесь важно указание на зависимость эквивалентной массы от вида реакции, в которой данное вещество участвует. Например, в реакции $\text{CuSO}_4 + 2\text{NaOH} = \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Cu}(\text{OH})_2$ эквивалентная масса меди равна половине атомной: $63,55:2 = 31,625$, а в реакции $2\text{CuSO}_4 + 4\text{KJ} = \text{Cu}_2\text{J}_2 + 2\text{K}_2\text{SO}_4 + \text{J}_2$ эквивалентная масса той же меди равна уже атомной 63,55, поскольку ион двухвалентной меди становится одновалентным, приобретая один электрон $\text{Cu}^{2+} + e = \text{Cu}^+$, отнимаемый от иона йода $\text{I}^- - e = \text{I}^0$.

С учетом всех этих факторов ряд организаций допустило применение эквивалентных единиц наряду с молекулярными.

Концентрации правильнее выражать применительно к массе, т. е. выражать в мг-экв/кг или в г/кг и т. д. Такое выражение концентраций единственно правильное, когда речь идет о примесях, содержащихся в насыщенном или перегретом паре. Однако в практике аналитической работы обычно не приходится взвешивать количества воды, отмеривая определенный объем ее, а концентрации относят к литру или к кубодециметру (мг/л или мг/дм³). Все эти узаконенные упрощения делают материал справочного пособия более доступным для тех лиц, кому оно предназначается.

Материал справочника распределяется между авторами следующим образом: разд. 1 составлен О. В. Коровиной, разд. 2 — Н. А. Мещерским, разд. 3 — Ю. М. Кострикиным и Н. А. Мещерским, приложения составлены Н. А. Мещерским.

Авторы благодарят канд. техн. наук Г. П. Сутоцкого за огромную работу по рецензированию рукописи и ценные замечания, а также канд. техн. наук Н. П. Субботину за большую работу по редактированию книги и просят замечания и пожелания направлять по адресу: 113114, Москва, Шлюзовая наб., 10, Энергоатомиздат.

Авторы

Водоподготовка и коррекционная обработка воды

1.1. Общие сведения о воде

Для водоснабжения энергообъектов используются в большинстве случаев природные воды, как поверхностные (из рек, озер, прудов), так и подземные (из артезианских скважин). В последние годы в связи с дефицитом воды в отдельных регионах и более строгими требованиями к охране водоемов энергообъекты используют также воду циркуляционных систем предприятий, а также малозагрязненные сточные воды. Все воды содержат разнообразные примеси, попадающие в воду в процессе ее естественного круговорота в природе; кроме того, возможно загрязнение водисточников бытовыми и промышленными стоками.

Все примеси, загрязняющие воду, подразделяют на три вида в зависимости от размера их частиц.

Истинно растворенные примеси находятся в воде в виде ионов, отдельных молекул, комплексов или состоят из нескольких молекул. Размер этих частиц менее 10^{-6} мм. В истинно растворимом состоянии в воде находятся газы (O_2 , CO_2 , H_2S , N_2), а также катионы и анионы поступивших в воду солей Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- .

Коллоидно-растворенные примеси имеют размеры частиц порядка 10^{-6} — 10^{-4} мм. Каждая из частиц образована большим числом молекул (их может быть несколько тысяч). Эти примеси могут быть как органического, так и минерального происхождения; к первым относятся гуминовые вещества, вымываемые из почвы, ко вторым — кремниевые кислоты, соединения железа.

Грубодисперсные примеси имеют размер частиц более 10^{-4} мм. Это растительные остатки, частицы песка, глины и т. д.

Содержание грубодисперсных примесей в природных водах различно в разное время года: для равнинных рек максимальное со-

держание наблюдается в период паводка (таяния снегов), для горных рек — в паводок и в периоды ливней в горах.

Для оценки качества природных вод и вод энергообъектов на различных стадиях технологического процесса приняты нижеперечисленные показатели. Их определяют в профильтрованных пробах и только один показатель — взвешенные вещества — определяют непосредственно в отобранной пробе, пользуясь весовым методом. Исследуемую воду фильтруют через предварительно высушенный и взвешенный беззольный бумажный фильтр. По окончании фильтрования фильтр с задержанными грубодисперсными частицами вновь высушивают при температуре $105^\circ C$ до постоянной массы. Прирост массы выражают в мг/л.

В связи с тем что определение массы трудоемко, при необходимости быстрого получения результатов анализа пользуются косвенным методом, определяя прозрачность воды по «кресту» или «шрифту» согласно ГОСТ 3351—46. Она зависит не только от количества грубодисперсных примесей, но также от их крупности, цвета и формы, поэтому рекомендуется в каждом конкретном случае путем параллельных определений взвешенных веществ по прозрачности и весового метода строить график, связывающий эти данные.

Сухой остаток CO (мг/л) определяют путем выпаривания определенного объема предварительно профильтрованной пробы и последующего просушивания остатка при температуре 110 — $120^\circ C$.

Сухой остаток выражает содержание растворенных в воде минеральных и органических примесей, нелетучих при указанной температуре. Содержащиеся в природной воде $Ca(HCO_3)_2$ и $Mg(HCO_3)_2$ при выпаривании разлагаются с выделением H_2O и CO_2 , и в сухом остатке появляются $NaCO_3$ и $MgCO_3$; это надо иметь в виду, сравнивая сухой остаток с минеральным.

Т а б л и ц а 1.1. Вычисление форм щелочности природной воды

Соотношение $Щ_{\text{ф}}$ и $Щ_{\text{мо}}$	Гидраты $Щ_{\text{г}}$	Карбонаты $Щ_{\text{к}}$	Бикарбонаты $Щ_{\text{б}}$
$Щ_{\text{ф}} = Щ_{\text{мо}}$	$Щ_{\text{ф}}; Щ_{\text{мо}}$	Нет	Нет
$Щ_{\text{ф}} > 0,5Щ_{\text{мо}}$	$2Щ_{\text{ф}} - Щ_{\text{мо}}$	$2(Щ_{\text{мо}} - Щ_{\text{ф}})$	»
$Щ_{\text{ф}} = 0,5Щ_{\text{мо}}$	Нет	$Щ_{\text{мо}}; 2Щ_{\text{ф}}$	»
$Щ_{\text{ф}} < 0,5Щ_{\text{мо}}$	»	$2Щ_{\text{ф}}$	$Щ_{\text{мо}} - 2Щ_{\text{ф}}$
$Щ_{\text{ф}} = 0; Щ_{\text{мо}} > 0$	»	Нет	$Щ_{\text{мо}}$

Минеральный остаток (общее солесодержание) подсчитывается путем суммирования концентраций катионов и анионов, определенных при проведении полного химического анализа воды.

Прокаленный остаток (мг/л) характеризует содержание в воде минеральных веществ; его определяют путем прокаливания при 800 °С сухого остатка. При прокаливании сгорают органические вещества и частично разлагаются карбонаты.

Окисляемость — показатель, характеризующий содержание в воде органических веществ.

В связи с трудностью аналитического определения индивидуальных органических веществ оценивают их суммарное содержание по количеству окислителя, расходуемого на их окисление. Обычно пользуются в качестве окислителя перманганатом калия (KMnO_4) и определяют так называемую «перманганатную окисляемость», выражая ее в условном пересчете на кислород (мг/л O_2).

Общая жесткость $Ж_0$ — суммарная концентрация в воде катионов кальция и магния.

Жесткость выражают в миллиграмм-эквивалентах (мг-экв/л) или в микрограмм-эквивалентах (мкг-экв/л) на 1 л воды.

Общая жесткость подразделяется на карбонатную $Ж_{\text{к}}$ и некарбонатную ($Ж_{\text{нк}}$):

$$Ж_0 = Ж_{\text{к}} + Ж_{\text{нк}}$$

Карбонатная жесткость обуславливается наличием в воде бикарбонатов и карбонатов кальция и магния. некарбонатная жесткость — присутствием в воде хлоридов и сульфатов кальция и магния.

Общая щелочность воды $Щ_0$ — суммарная концентрация в воде растворимых гидроксидов и анионов слабых кислот HCO_3^- и CO_3^{2-} за вычетом концентрации ионов водорода.

Общую щелочность $Щ_0$ выражают в миллиграмм-эквивалентах на 1 л. Ее определяют титрованием пробы воды кислотой в присутствии индикаторов: фенолфталеина и метилоранжа. Для вод, в которых может

содержаться гидратная форма щелочности (OH^-), карбонатная (CO_3^{2-}) или бикарбонатная (HCO_3^-), вычисление отдельных форм (слагаемых) общей щелочности определяют по табл. 1.1 в зависимости от результатов титрования пробы с фенолфталеином — $Щ_{\text{ф}}$ и метилоранжем — $Щ_{\text{мо}}$.

Природные воды в своем большинстве характеризуются бикарбонатной формой щелочности, которая численно близка к величине общей щелочности ($Щ_0 \approx Щ_{\text{б}}$).

В природных исходных водах соотношения между щелочностью и общей жесткостью могут быть различными, соответственно вычисляются значения карбонатной жесткости:

Щелочность исходной воды	Карбонатная жесткость исходной воды
$Щ_{\text{н.в}} < Ж_0$	$Ж_{\text{к}} = Щ_{\text{н.в}}$
$Щ_{\text{н.в}} = Ж_0$	$Ж_{\text{к}} = Ж_0$
$Щ_{\text{н.в}} > Ж_0$	$Ж_{\text{к}} = Ж_0$
	$Щ_{\text{н.в}} - Ж_0 = [\text{NaHCO}_3]$

Ионный состав воды. Вода всегда электрически нейтральна, поэтому сумма концентраций содержащихся в ней катионов равна сумме концентраций анионов при условии, что они выражены в мг-экв/л: $\Sigma c_{\text{к}} = \Sigma c_{\text{а}}$.

Этой закономерностью, называемой уравнением электронейтральности раствора, пользуются при проверке правильности выполнения анализа воды.

В водах энергетических объектов могут присутствовать ионы, приведенные в табл. 1.2.

В природных водах обычно содержатся катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ и анионы HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , реже NH_4^+ , Fe^{2+} и NO_2^- , NO_3^- , HS^- .

Двухвалентное железо встречается в подземных водах в виде бикарбонатов $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$.

Соединения трехвалентного железа встречаются в поверхностных водах, они находятся преимущественно в коллоидном состоянии.

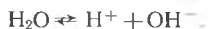
Наличие в природных водах соединений азота, а именно ионов аммония (NH_4^+), нитритов (NO_2^-) и нитратов (NO_3^-), указывает

Т а б л и ц а 1.2. Ионный состав воды

Катионы	Анионы
Водород H^+	Гидроксильный OH^-
Натрий Na^+	Бикарбонатный HCO_3^-
Калий K^+	Карбонатный CO_3^{2-}
Аммоний NH_4^+	Нитритный NO_2^-
Кальций Ca^{2+}	Нитратный NO_3^-
Магний Mg^{2+}	Хлоридный Cl^-
Железо двухвалентное Fe^{2+}	Фторидный F^-
Железо трехвалентное Fe^{3+}	Сульфатный SO_4^{2-}
Алюминий Al^{3+}	Силикатный SiO_3^{2-}
Медь Cu^{2+}	Ортофосфатный PO_4^{3-}
	Гидросульфидный HS^-

на загрязнение источника водоснабжения хозяйственно-бытовыми стоками.

Химически чистая вода является очень слабым электролитом, только одна из десяти миллионов молекул диссоциирует на ионы H^+ и OH^- :



Отрицательный логарифм концентрации водородных ионов, называемый водородным показателем pH, для химически чистой воды равен 7. В зависимости от значения pH водного раствора оценивают реакцию среды:

Реакция среды	Значение pH
Кислая	1—3
Слабокислая	4—6
Нейтральная	7
Слабощелочная	8—10
Щелочная	11—14

Вода для питьевых целей имеет $pH = 6,5 \div 9,0$ (ГОСТ 2874—82).

Растворенные газы. Для вод, используемых для энергетических целей, важное значение имеют растворенные в воде газы: кислород, углекислота, сероводород, аммиак.

Кислород поступает в воду из воздуха, где его содержится около 21 %. Концентрация кислорода в поверхностных водах близка к значению растворимости его при данной температуре и давлении.

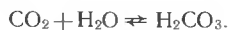
Растворимость кислорода при контакте с воздухом при атмосферном давлении 760 мм рт. ст. следующая:

Температура, °С	0	10	20
Содержание O_2 , мг/л	14,6	11,3	9,1

Продолжение

Температура, °С	25	90	100
Содержание O_2 , мг/л	8,3	1,6	0

Основным источником поступления в воду углекислоты (содержание CO_2 в воздухе невелико — всего 0,04 %) являются биохимические процессы разложения органических веществ в природе. Растворяясь в воде, CO_2 реагирует с водой, образуя гидратированную форму H_2CO_3 :



При анализе воды определяется суммарная концентрация обеих форм углекислоты.

Когда природная вода не является насыщенным раствором по $CaCO_3$ и при этом содержит CO_2 , реакция (1.1) протекает слева направо:



т. е. идет процесс растворения карбоната кальция при контакте воды, например, с известковыми породами или с бетонными сооружениями.

Когда природная вода является стабильной, т. е. насыщенным раствором по $CaCO_3$, реакция не протекает.

Содержание в воде углекислоты следует определять аналитически.

1.2. Анализы воды и их проверка

Для вод, используемых для энергетических целей, должны быть представлены полные анализы воды, включающие следующие данные:

- 1) наименование источника водоснабжения (артезианская скважина, водопровод, поверхностный водоем, река, оборотная система и пр.);
 - 2) место отбора пробы и дата;
 - 3) дата проведения анализа;
 - 4) взвешенные вещества, мг/л;
 - 5) окисляемость, мг/л O_2 ;
 - 6) водородный показатель pH;
 - 7) щелочность, мг-экв/л;
 - 8) сухой остаток при 105 °С, мг/л;
 - 9) жесткость общая и карбонатная, мг-экв/л;
 - 10) катионы Fe^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , NH_4^+ , мг/л;
 - 11) полуторные оксиды $Fe_2O_3 + Al_2O_3$, мг/л;
 - 12) анионы HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- ;
 - 13) кремнекислота в пересчете на SiO_2 .
- Водопроводная вода, используемая для подпитки открытых систем теплоснабжения или горячего водоснабжения, должна отвечать требованиям ГОСТ 2874—82 «Вода питьевая».
- При использовании артезианских вод достаточно провести два-три анализа по перечисленным показателям, взятых в различное

время года, но подтверждающих постоянство состава.

Для поверхностных вод и вод скважин, использующих подрусловую воду, необходимо иметь ежемесячные анализы за последние 3—4 года.

Необходимо отметить, что для рек средней полосы максимальное содержание взвешенных веществ и окисляемости бывает в период паводка, а максимальная жесткость и соледержание характерны в предпаводковый период, когда над водой стоит лед.

Для рек, которые в летнее время пересыхают, соледержание и другие показатели в этот период могут быть максимальными.

Для горных рек максимальное содержание взвешенных веществ имеет место в периоды ливней и таяния снега в горах.

Наличие ежемесячных анализов за несколько лет необходимо для получения более надежной информации.

Проверка правильности анализа производится следующим образом.

1. Имея полный анализ, можно составить уравнение электронейтральности раствора, согласно которому сумма концентраций всех анионов равна сумме концентраций всех катионов при условии, что концентрации выражены в эквивалентах.

Если в исходной воде концентрации катионов и анионов приведены в мг/л, пересчитываем их в мг-экв/л:

$$\text{Ca}^{2+}/20,04 + \text{Mg}^{2+}/12,16 + \text{Na}^{+}/23 + \text{NH}_4^{+}/18,04 + \dots = \text{HCO}_3^{-}/61,02 + \text{SO}_4^{2-}/48,03 + \text{Cl}^{-}/35,48 + \text{NO}_3^{-}/62 + \dots$$

Если при анализе воды Na^{+} и K^{+} не определялись, то их концентрацию можно подсчитать по разности:

$$\text{Na}^{+} + \text{K}^{+} = \Sigma c_a - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+}).$$

В уравнении концентрации катионов и анионов выражены в мг-экв/л.

2. Аналитически определенная общая жесткость исходной воды $J_{\text{и.в}}$ должна равняться сумме концентраций ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , мг-экв/л:

$$J_{\text{и.в}} = \text{Ca}^{2+}/20,04 + \text{Mg}^{2+}/12,16.$$

3. Концентрация бикарбонат-иона в исходной воде $[\text{HCO}_3^{-}]_{\text{и.в}}$, мг-экв/л:

при $J_{\text{и.в}} > J_{\text{н.к}}$

$$[\text{HCO}_3^{-}]_{\text{и.в}} = J_{\text{к}} = J_{\text{и.в}} - J_{\text{н.к}}; J_{\text{н.к}} = J_{\text{и.в}} - J_{\text{н.в}};$$

при $J_{\text{и.в}} < J_{\text{н.в}}$

$$[\text{HCO}_3^{-}]_{\text{и.в}} = J_{\text{н.в}}; J_{\text{и.в}} = J_{\text{к}}; J_{\text{н.к}} = 0.$$

1.3. Роль примесей воды при ее использовании в энергетике

Растворенные в воде вещества вызывают те или иные неполадки в работе энергетического оборудования. В основном это связано с образованием в тепловых агрегатах накипных отложений и коррозии.

При больших щелочности и соледержании имеют место вскипание котловой воды и занос солей в пароперегреватель.

В настоящее время в котлах предусматриваются специальные сепарационные устройства, ступенчатое испарение, промывка пара и другие способы, способствующие получению чистого пара. Допускаемое конструкцией котла соледержание в чистом и солевом отсеках оговаривается заводом-изготовителем в паспортных данных к котлу.

В теплофикационных водогрейных котлах кроме карбонатных отложений при подогреве воды выше 130°C сильно снижается растворимость CaSO_4 , что потребовало принять нормы качества подпиточной и сетевой воды, исключающие выпадение из раствора гипса (образующего очень плотные накипи).

В теплообменной аппаратуре, работающей при $25\text{—}50^{\circ}\text{C}$, возникают так называемые низкотемпературные отложения, основным компонентом которых является карбонат кальция (CaCO_3).

Образующиеся накипные отложения значительно снижают теплопроизводительность теплообменников (иногда требуется установка дополнительных), а также увеличивают потери напора в трубах.

В подогревателях горячего водоснабжения (подогрев воды до 70°C), использующих недеаэрированную исходную воду, накипные отложения могут быть весьма велики, поэтому применение исходной воды без предварительной обработки ограничивается соответствующими нормами.

Наряду с карбонатными отложениями в теплообменной аппаратуре идет накопление продуктов коррозии. Довольно характерным является состав отложений, отобранных из подогревателей горячего водоснабжения в Клину (состав приводится в %): $\text{CaO} - 25,96$; $\text{MgO} - 1,97$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 23,46$; $\text{SiO}_2 - 6,2$; $\text{SO}_3 - 0,42$; потери при прокаливании — 36% .

В современных котлах, особенно сжигающих высококалорийное топливо (газ, мазут), тепловой поток в экранированных трубах может достигать $580\text{—}700 \text{ кВт/м}^2$ [$500\text{—}600 \text{ Мкал/(м}^2 \cdot \text{ч)}$]. Образование на внутренней поверхности нагрева незначительных по толщине (около $0,1\text{—}0,2 \text{ мм}$), но малотепло-

проводных отложений приводит к перегреву металла и, как следствие, к появлению отдулин, свищей и даже разрывов экранных труб.

Отложения, образующиеся непосредственно на поверхности нагрева, принято называть первичной накипью; грубодисперсные частицы, находящиеся в объеме воды (шлам), впоследствии могут оседать на поверхности нагрева, образуя вторичные отложения (вторичная накипь).

Образование отложений на поверхности нагрева происходит вследствие протекания в нагреваемой среде процессов, связанных с образованием труднорастворимых веществ вследствие концентрирования солей при многократном упаривании в котле питательной воды, а также понижения растворимости ряда веществ с повышением температуры (соли с отрицательным температурным коэффициентом растворимости, например CaSO_4).

По химическому составу накипи подразделяют на:

а) накипи щелочноземельных металлов, которые содержат CaCO_3 , CaSO_4 , CaSiO_3 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{MgO} \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$, $5\text{CaO} \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. В зависимости от преобладающего аниона они разделяются на карбонатные, сульфатные, фосфатные и силикатные;

б) железистоокисные и железистосиликатные накипи;

в) медные накипи.

Как уже отмечалось выше, карбонатная накипь образуется в теплообменниках, тепловых сетях, конденсаторах турбин и др. В условиях некипящей среды накипь образуется плотная, кристаллического характера. В условиях кипящей среды CaCO_3 обычно выпадает в виде шлама.

Сульфатные накипи, как правило, образуют плотные отложения, прочно связанные с металлом.

Силикатные накипи сложны по своему составу (CaSiO_3 , $5\text{CaO} \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$; $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ и др.), а по своей структуре разнообразны и образуют плотные, пористые и комковатые отложения.

Железистоокисные накипи, состоящие в основном из магнетита (Fe_3O_4), отлагаются обычно в зоне высоких температур (экранные трубы).

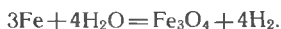
Железистосиликатные накипи [NaFePO_4 , $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$] образуются при повышенном содержании в котловой воде железа, фосфата натрия и низкой ее щелочности. В медных накипях содержится до 30 и более процентов меди с примесями оксидов железа, соединений кальция и магния. Медь в накипи присутствует в виде металла и оксидов. Такие накипи образуются в зонах

высоких температур на стороне трубы, обращенной в топку.

Поступает медь в котел с питательной водой как продукт коррозии латуни и других медных сплавов конденсатного тракта.

Все материалы, из которых выполняется теплоэнергетическое оборудование, в силу своей природы подвергаются коррозии — разеданию под воздействием среды, с которой они соприкасаются. В водной среде происходит электрохимическая коррозия, обусловленная действием большого количества микрогальванических пар, возникающих на поверхности металла. Поляризация электродных участков затормаживает коррозионный процесс. Увеличение электропроводности водной среды и присутствие в ней деполяризаторов ускоряют коррозию. Электрохимической коррозии подвержены водоподготовительное оборудование, тракт питательной воды, котел, теплосеть.

Химическая коррозия обуславливается протеканием химической реакции непосредственно между молекулами среды и атомами металла. Примером этого вида коррозии является разрушение углеродистой стали в высокотемпературном водяном паре (при $t = 450 \div 500^\circ\text{C}$):



По внешнему виду коррозионных повреждений различают общую коррозию, когда вся поверхность разрушается равномерно с одинаковой скоростью, и местную коррозию, когда разрушаются отдельные участки поверхности металла. При этом возможны различные формы: коррозия пятнами, язвенная, точечная, межкристаллитная и транскристаллитная.

Межкристаллитная коррозия, или «каустическая хрупкость» металла, возникает в неплотностях заклепочных швов, развальцованных концов кипящих труб, где котловая вода может упариваться до концентрации едкого натра 5–10 %, при механических или термических перенапряжениях котельного металла, при этом наблюдаются кольцевые трещины развальцованных концов труб.

Некоторые примеси, содержащиеся в исходной питательной или котловой воде, вызывающие ускорение коррозии, называются ускорителями или стимуляторами коррозии. Вещества, снижающие скорость коррозии, называются замедлителями или ингибиторами.

К основным стимуляторам коррозии углеродистой стали относятся растворенный в воде кислород и ионы водорода, к замедлителям — NaOH , Na_3PO_4 , Na_2HPO_4 , $(\text{NaPO}_3)_6$ и др.

При отсутствии кислорода аммиак, содержащийся в паре или конденсате, практически

Т а б л и ц а 1.3. Рекомендуемый материал трубок теплообменников

Схема обработки подпиточной воды	В тракте до деаэратора	Сетевых теплообменников
Известкование	Л-68, ЛА-72-2	Л-68
Натрий-катионирование	ЛА-72-2, МНЖ-5-1	Л-68
Водород-катионирование с «голодной» регенерацией фильтров, декарбонизация	ЛА-72-2, МНЖ-5-1	Л-68
Подкисление — декарбонизация	ЛА-72-2, МНЖ-5-1	Л-68
Мягкая вода без обработки с $Ж_0=0,5 \div 0,6$ мг-экв/л, $Щ_0=0,2 \div 0,5$ мг-экв/л, $pH=6,5 \div 7,5$	ЛА-72-2, МНЖ-5-1	Л-68

не вызывает коррозии латуни даже при больших его концентрациях. В присутствии кислорода уже небольшие количества аммиака (2—3 мг/л) обуславливают местную коррозию латуни и других медных сплавов.

При плохо налаженной деаэрации коррозии подвергаются трубопроводы, теплообменная аппаратура, аккумуляторные баки и другое оборудование.

Скопление продуктов коррозии на участках теплосети с малыми скоростями может привести к увеличению гидравлического сопротивления сети, снижению ее пропускной способности, забиванию коррозионными отложениями местных систем отопления.

Особенно подвержена коррозии теплообменная аппаратура, устанавливаемая на подпиточном тракте до деаэратора; в этой аппаратуре следует применять более коррозионно-стойкие материалы.

По рекомендации ВТИ при солесодержании подпиточной и сетевой воды выше 200 мг/л и концентрации хлор-иона более 10 мг/л не следует использовать для трубок латунь Л-68 и руководствоваться данными, приведенными в табл. 1.3.

1.4. Предочистка. Методы и схемы обработки воды.

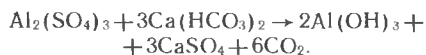
Технологические и расчетные данные

1.4.1. Коагуляция и осветление воды в осветлителях

Поверхностные воды требуют предварительной обработки (предочистки), в результате которой освобождается вода в первую очередь от грубодисперсных и коллоидных примесей. Для разрешения этой задачи применяют коагуляцию.

В качестве реагентов для коагуляции (коагулянтов) используются сернокислый алюминий $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ (глинозем), сернокислое железо $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (железный купорос), хлорное железо $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ и сернокислое оксидное железо $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$.

При добавлении к воде сернокислого алюминия происходит его гидролиз с образованием труднорастворимых гидроксидов алюминия, которые способствуют слипанию коллоидных частиц и появлению в объеме воды хлопьевидной крупной взвеси. Присутствие в исходной воде бикарбонатов приводит к реакции, которую в общем виде можно выразить уравнением



Остаточное содержание бикарбонатов в коагулированной воде желательно иметь около 0,5, но не менее 0,3 мг-экв/л.

Если в исходной воде бикарбонатов недостаточно, проводится подщелачивание обрабатываемой воды $NaOH$ или $Ca(OH)_2$.

Как видно из вышеприведенной реакции, в воде после коагуляции возрастает концентрация сульфатов, соответственно уменьшается щелочность (примерно на величину дозы коагулянта) и увеличивается концентрация углекислоты.

Проведение процесса коагуляции сернокислым алюминием эффективно при значениях pH среды 5,5—7,5.

Железный купорос ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) применяется при коагуляции, совмещаемой с известкованием (см. п. 1.4.3).

Методы предварительной обработки («предочистки») в зависимости от качества исходной воды приведены в табл. 1.4.

Коагуляцию воды проводят в специальных аппаратах — осветлителях для коагуляции типов ВТИ, ЦНИИ-2 или ЦНИИ-3. Схема осветлителя типа ВТИ приведена на рис. 1.1.

В осветлителе предусмотрены три сопловых ввода воды, из которых каждый может быть отключен задвижкой. В нижней части осветлителя расположена горизонтальная решетка, способствующая равномерному распределению шлама в контактной среде.

Так как процесс коагуляции зависит от целого ряда факторов, следует для каждой воды проводить пробную коагуляцию для оп-

Т а б л и ц а 1.4. Предварительная очистка воды («предочистка»)

Качество исходной воды	Метод обработки	Основное оборудование
Взвешенные вещества до 50 мг/л, окисляемость менее 15 мг/л O_2	Фильтрация	Осветлительные (механические) фильтры (вертикальные или горизонтальные) с загрузкой антрацитом или кварцевым песком, высота слоя загрузки $H_{cl} \leq 1$ м
Взвешенные вещества до 100 мг/л, окисляемость менее 15 мг/л O_2	Фильтрация	Механические фильтры с двухслойной загрузкой: 1) кварцевый песок — $d_3 = 0,5 \div 1,2$ мм; $H_{cl} = 0,7 \div 0,8$ м; 2) дробленый антрацит — $d_3 = 0,8 \div 1,8$ мм; $H_{cl} = 0,4 \div 0,5$ м
Взвешенные вещества более 100 мг/л, окисляемость более 15 мг/л O_2 , $J_{K_2} > 2$ мг-экв/л	Коагуляция в осветлителе, фильтрация	Осветлители для коагуляции с последующим фильтрованием на однослойных осветлительных фильтрах
Взвешенные вещества более 100 мг/л, окисляемость более 15 мг/л O_2 , $J_{K_2} > 2$ мг-экв/л	Совмещение известкования с коагуляцией в осветлителе, фильтрация	Осветлители для известкования с последующим фильтрованием на однослойных осветлительных фильтрах

редления оптимальных условий проведения процесса.

При наладке для всех гидрохимических режимов водоема (паводок, зима и пр.) следует обязательно устанавливать оптимальные дозы реагента, pH, температуру среды и пр.

При коагуляции воды в осветлителе кроме оптимального значения температуры 25—30 °C¹ должно строго соблюдаться ее постоянство (допустимые колебания ± 1 °C в час). Непостоянство температуры нарушает взвешенный слой осадка, что ведет к повышению мутности осветленной воды. Чтобы исключить нарушения в работе осветлителя, необходимо автоматизировать подогрев воды.

Соблюдение оптимальных условий коагуляции должно обеспечивать достаточное снижение окисляемости воды и ее осветление. Ориентировочно дозу сернокислого алюминия принимают равной 0,12 мг-экв на 1 мг O_2 удаляемой окисляемости. Обычно доза коагулянта укладывается в предел 0,5—1,2 мг-экв/л; меньшая — для вод, содержащих взвеси до 100 мг/л при небольшой окисляемости исходной воды; большая — для вод с перманганатной окисляемостью 15 мг/л O_2 и выше и в период паводка и плохо коагулируемых вод (если даже окисляемость невелика). Плохая коагулируемость характерна для вод, загрязненных промышленными или бытовыми стоками. В этом случае дозу коагулянта иногда требуется повысить до 1,5 мг-экв/л.

Если применением одного коагулянта невозможно достичь желаемых результатов, используют флокулянты, которые ускоряют образование крупных хлопьев, или предусматривают хлорирование обрабатываемой воды. В качестве флокулянта применяют полиакриламид (ПАА). Его дозировка лежит в пределах 0,1—1 мг/л, считая на 100 %-ный продукт.

Необходимая доза хлора определяется экспериментально, обычно она составляет 5—20 мг/л; остаточное содержание хлора в коагулированной воде не должно превышать 1 мг/л.

При коагуляции важную роль играют очередность и место ввода реагентов в обрабатываемую воду.

Окислители (газообразный хлор, хлорная известь) и реагент, корректирующий величину pH (подщелачивающий или подкисляющий), вводятся в общий поток воды до коагулянта. Окислители следует вводить при более низких pH, т. е. после ввода кислоты — при подкислении и до ввода щелочи — при подщелачивании. Коагулянт следует вводить в нижнюю часть осветлителя (в зону контактной среды).

Флокулянт должен вводиться спустя 1—3 мин после ввода коагулянта, чтобы успели образоваться мелкие хлопья.

Конструкцией осветлителя предусматривается указанная выше последовательность ввода реагентов, однако при наладке необходимо уточнить места вводов всех реагентов.

Качество коагулированной воды зависит от состава исходной воды и соблюдения оптимальных условий коагуляции в осветлителе. При нормальной работе осветлителя, нала-

¹ Оптимальная температура устанавливается по технико-экономическим соображениям.

женной технологии коагуляции качество коагулированной воды обычно получается следующим:

1) остаточная перманганатная окисля-

емость составляет 40—30 % исходной величины;

2) содержание взвешенных веществ 1—2 мг/л;

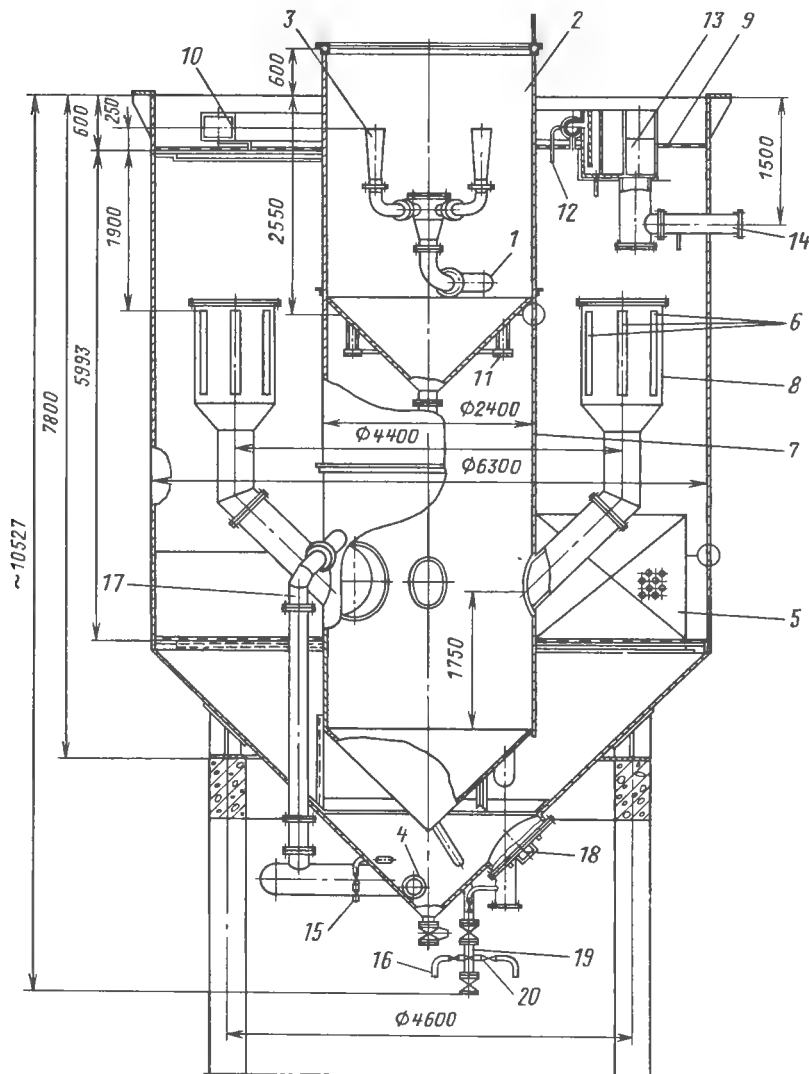


Рис. 1.1. Схема осветлителя типа ВТИ для коагуляции производительностью 100 м³/ч:
 1 — трубопровод исходной воды; 2 — воздухоотделитель; 3 — распределительные воронки (4 шт.); 4 — сопло; 5 — смесительная перегородка (гасящая вращательное движение); 6 — шламоприемные окна; 7 — корпус шламоуплотнителя; 8 — шламоприемные трубы (4 шт.); 9 — верхняя распределительная решетка; 10 — отверстия в сборном желобе; 11 — коллектор шламоуплотнителя; 12 — линия возврата воды из шламоуплотнителя; 13 — приемный короб осветленной воды; 14 — выход воды из ответвителя; 15 — ввод раствора коагулянта; 16 — линия непрерывной продувки с ручным управлением; 17 — перепускная труба от воздухоотделителя к соплу; 18 — люк; 19 — дренаж шламоуплотнителя; 20 — линия автоматической продувки шламоуплотнителя с помощью сервопривода и сигнализатора уровня шлама (СУШ)

3) прозрачность воды по шрифту больше 30 см;

4) снижение кремнесодержания на 60—90 %;

5) остаточное содержание железа 0,03—0,3 мг/л;

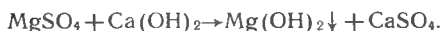
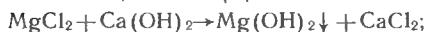
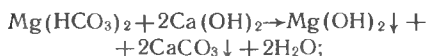
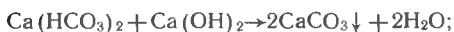
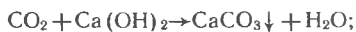
6) остаточное содержание алюминия менее 0,05 мг/л.

1.4.2. Известкование и коагуляция с осветлением воды в осветлителях

Известкование исходной воды осуществляется для снижения щелочности, декарбонизации, частичного умягчения и снижения соледержания воды. При совмещении процессов известкования и коагуляции полнее удаляются взвешенные и органические вещества, соединения кремния и железа.

При известковании в обрабатываемую воду подается насыщенный раствор извести или известковое молоко, где содержание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ превышает растворимость на 10—20 %.

В процессе известкования протекают следующие реакции с образованием труднорастворимых соединений CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$:



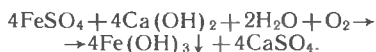
Первая из приведенных реакций показывает, как идет процесс декарбонизации (удаление углекислоты); вторая и третья реакции иллюстрируют снижение щелочности и одновременно карбонатной жесткости исходной воды; последние две реакции показывают, что, несмотря на удаление из раствора ионов магния, величина некарбонатной жесткости исходной воды практически не изменяется (она вся становится кальциевой).

Приведенные выше реакции завершаются быстро, а образование твердой фазы CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$ происходит медленно, однако в осветлителе получившийся ранее шлам играет роль контактной среды, способствуя ускорению кристаллизации и укрупнению частиц осадка, что улучшает условия выделения его из воды.

Надо иметь в виду, что для удаления карбонатной жесткости рН среды достаточно повысить до 9,6, а для осаждения всего количества магния необходимо значение $\text{pH} = 10,2 \div 10,3$. При указанных значениях рН коагуляцию воды проводят солями железа. В обрабатываемую воду дозируют обычно сер-

нокислое закисное железо ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) — железный купорос. Растворенный в исходной воде кислород окисляет железо, переводя его из 2-валентного в 3-валентное. Стехиометрический расход кислорода на окисление Fe^{2+} в Fe^{3+} составляет 4 мг O_2 на 1 мг-экв FeSO_4 .

Гидроксид железа, являющийся коагулирующим агентом, получается согласно реакции, которую в общем виде можно представить уравнением



Если при повышенных дозировках FeSO_4 кислорода в воде может оказаться недостаточно для окисления Fe^{2+} в Fe^{3+} , то прибегают к предварительной аэрации или подают в обрабатываемую воду хлор, который окисляет Fe^{2+} в Fe^{3+} по реакции



При $\text{pH} \approx 10$ время окисления железа хлором составляет 2—3 мин.

Потребная доза хлора может быть определена из уравнения

$$\text{Cl}_a \approx 17,5 (D_k - \text{O}_2/4),$$

где Cl_a — доза хлора, мг/л; D_k — доза коагулянта, мг-экв/л; O_2 — концентрация в воде растворенного кислорода, мг/л.

Дозу коагулянта устанавливают экспериментально, ее нельзя определить по анализу воды, но на основании статистических данных о работе коагуляционных установок ее можно принимать в пределах 0,25—0,75 мг-экв/л; меньшее значение — для зимы, большее — для паводкового периода. При наладке предпочтительнее устанавливаются оптимальные условия для каждого конкретного случая.

Дозу флокулянта ПАА при известковании принимают равной 0,5—1 мг/л. Ввод ПАА осуществляется после подачи извести и коагулянта в той части осветлителя, где завершено перемешивание реагентов и образованы хлопья. Разрыв между вводом извести и ПАА должен составлять 1—3 мин.

Оборудование для коагуляции должно быть предусмотрено во всех случаях известкования воды в осветлителях, работающих с контактной средой из ранее образовавшегося взвешенного шлама.

Доза извести определяется в зависимости от состава исходной воды. Если в воде содержится большое количество кальция и имеет место соотношение

$$[\text{Ca}]_{\text{н.в.}} + D_k \geq [\text{HCO}_3]_{\text{н.в.}} - [\text{CO}_3]_{\text{ост.}}$$

то магний входит в некарбонатную жесткость, и в этом случае его осаждают не требуется,

тогда доза извести определяется из уравнения

$$D_{\text{и}} = [\text{CO}_2]_{\text{и.в}} + [\text{HCO}_3]_{\text{и.в}} - [\text{CO}_3^{2-}]_{\text{ост}} + D_{\text{к}},$$

где $[\text{CO}_2]_{\text{и.в}}$ и $[\text{HCO}_3]_{\text{и.в}}$ — концентрации соответственно уголекислоты и бикарбонатов в исходной воде, мг-экв/л.

Остаточная карбонатная щелочность $[\text{CO}_3]_{\text{и.в}}$ при $J_{\text{и.в}} \geq \text{Ш}_{\text{и.в}}$ определяется приблизительно на основании опыта промышленных установок:

$$\begin{array}{llll} [\text{Ca}]_{\text{и.в}}^*, \text{ мг-экв/л} & > 3 & 1-3 & 0,5-1 \\ [\text{CO}_3]_{\text{и.в}}, \text{ мг-экв/л} & 0,5-0,6 & 0,6 & 0,7 \quad 0,7-0,75 \end{array}$$

При $J_{\text{и.в}} < \text{Ш}_{\text{и.в}}$ остаточная карбонатная щелочность определяется по уравнению

$$\text{Ш}_{\text{ост}} = \text{Ш}_{\text{и.в}} - J_{\text{и.в}} - D_{\text{к}}.$$

Если имеет место соотношение

$$[\text{Ca}]_{\text{и.в}} + D_{\text{к}} < [\text{HCO}_3]_{\text{и.в}} - [\text{CO}_3^{2-}]_{\text{ост}},$$

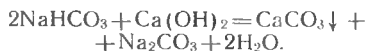
то в исходной воде содержится бикарбонат магния и для его осаждения в виде $\text{Mg}(\text{OH})_2$ требуется известь; доза извести при этом определяется из уравнения

$$D_{\text{и}} = [\text{CO}_2]_{\text{и.в}} + 2[\text{HCO}_3]_{\text{и.в}} - 2[\text{CO}_3]_{\text{ост}} - [\text{Ca}]_{\text{и.в}} + I_{\text{и}},$$

где $I_{\text{и}}$ — избыток извести, принимаемый равным 0,05–0,3 мг-экв/л.

Как видно из уравнения, известь на осаждение коагулянта в этом случае не учитывается.

«Щелочные» воды, в которых $\text{Ш}_{\text{и.в}} > J_{\text{и.в}}$, а следовательно, $J_0 = J_{\text{к}}$ и в виде бикарбоната содержатся еще натрий и калий (NaHCO_3 и KHCO_3), известковать в редких случаях целесообразно, так как при этом протекает реакция



С образованием соды Na_2CO_3 остаточная щелочность известкованной воды при этом получается большая, она определяется из уравнения

$$\text{Ш}_{\text{ост}} = \text{Ш}_{\text{и.в}} - J_{\text{и.в}} - D_{\text{к}}.$$

При известковании и коагуляции в осветлителе обработанная вода имеет:

остаточную карбонатную щелочность около 0,5–0,7 мг-экв/л для воды, в которых $\text{Ш}_{\text{и.в}} > J_{\text{и.в}}$;

остаточное содержание взвешенных веществ менее 5 мг/л.

Известкованная вода должна быть стабильной, т. е. не должна образовывать кар-

бонатных отложений по тракту после осветлителя или в механических фильтрах. Ориентировочно степень неустойчивости оценивают по снижению щелочности ($\Delta \text{Ш}$) и жесткости известкованной воды на механических фильтрах. Известкованная при температуре 30 °C вода может иметь степень неустойчивости $\Delta \text{Ш} = 0,05 \div 0,1$ мг-экв/л, но не более 0,15 мг-экв/л.

Изменения состава воды после известкования приведены в § 1.13.

Для известкования применяются осветлители нормального ряда, разработанные СКБ ВТИ. Конструктивные схемы осветлителей показаны на рис. 1.2, для аппаратов производительностью 250 м³/ч и менее (ВТИ-63и, ВТИ-100и, ВТИ-160и и ВТИ-250и) — на рис. 1.2, а, для аппаратов производительностью более 400 м³/ч (ВТИ-400и, ВТИ-630и и ВТИ-1000и) — на рис. 1.2, б.

Работа осветлителей типа ВТИ при известковании предусматривает выполнение следующих условий:

1) подогрев воды до 40 °C при колебаниях температуры не более ± 1 °C/ч; постоянство температуры обеспечивается автоматизацией подогрева воды;

2) содержание взвешенных веществ в исходной воде в паводок до 800 мг/л, в остальное время года до 200 мг/л; общее количество образующегося осадка до 1500 мг/л;

3) массовое отношение $\alpha_{\text{м}}$ содержания в шламе соединений магния в пересчете на $\text{Mg}(\text{OH})_2$ к содержанию соединений кальция в пересчете на CaCO_3 определяются из уравнения

$$\alpha_{\text{м}} = 29[\text{Mg}]_{\text{и.в}} - [\text{Mg}]_{\text{ост}} / 50([\text{Ca}]_{\text{и.в}} - [\text{Ca}]_{\text{ост}} + D_{\text{и}}) + 0,37 D_{\text{и.в}},$$

где $[\text{Mg}]_{\text{и.в}}$ и $[\text{Ca}]_{\text{и.в}}$ — соответственно содержание магния и кальция в исходной воде, мг-экв/л; $[\text{Mg}]_{\text{ост}}$ и $[\text{Ca}]_{\text{ост}}$ — соответственно остаточное содержание магния и кальция в известкованной воде, мг-экв/л; $D_{\text{и}}$ — доза извести.

При $t = 25$ °C или при $\alpha_{\text{м}} = 0,2$ расчетная производительность осветлителя $Q_{\text{рас}}$ будет меньше проектной и может приниматься по следующим данным:

$\alpha_{\text{м}}$	0,15	0,2	0,2
t , °C	25	30	25
$Q_{\text{рас}}$, % $Q_{\text{пр}}$	90	90	85

Расчетная производительность $Q_{\text{рас}}$ может быть принята равной 115 % проектной $Q_{\text{пр}}$ при подогреве воды до 40 ± 1 °C и $\alpha_{\text{м}} < 0,15$. Можно допускать форсировку производительности до 125 %, но содержание взвешенных веществ в известкованной воде при этом возрастает.

* С учетом Ca , вводимого для осаждения коагулянта.

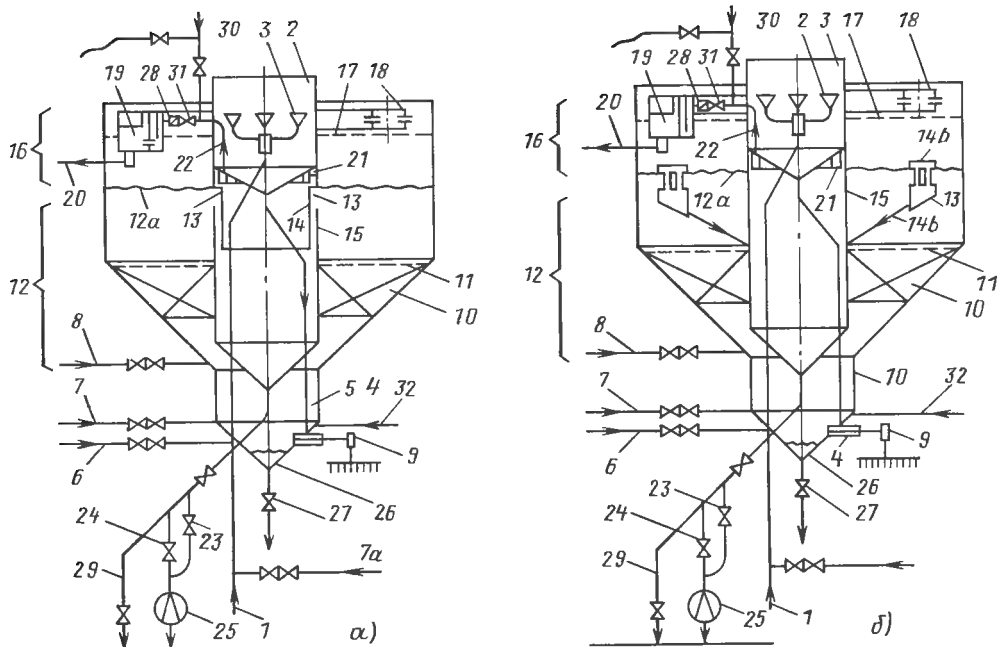


Рис. 1.2. Схемы осветлителей СКБ ВТИ для известкования воды:

а — осветлители производительностью 63, 100, 160, 250 м³/ч; б — осветлители производительностью 400, 630 и 1000 м³/ч

Работа осветлителей для известкования (рис. 1.2, а, б) протекает в описанной ниже последовательности. Исходная вода 1, подогретая до заданной температуры, подается по системе 2 в воздухоотделитель 3, где освобождается от пузырьков воздуха. Из воздухоотделителя по опускной трубе через тангенциально направленный ввод с регулирующим устройством 9 исходная вода поступает в нижнюю часть аппарата — смеситель воды и реагентов 5. Тангенциальный подвод сообщает потоку исходной воды вращательное движение, способствующее перемешиванию ее с подводимыми реагентами. При использовании промышленных вод осветлительных фильтров эта вода направляется в смеситель по трубопроводу 32. Известковое молоко 6, раствор коагулянта 7 и ПАА 8 поступают в смеситель по радиально направленным трубопроводам. Известковое молоко вводится выше, чем исходная вода, раствор коагулянта — выше известкового молока, а раствор ПАА — в верхнюю часть смесителя. Подвод коагулянта 7а предусматривается и в трубопроводе исходной воды перед воздухоотделителем. Процесс химического взаимодействия реагентов с растворенными в воде веществами завершается в нижней части осветлителя; при выходе воды из

зоны смесителя 5 начинается выделение продуктов взаимодействия в виде хлопьев. Этот процесс образования, увеличения размеров и задержания хлопьев протекает на дальнейшем пути восходящего движения воды. Приданное воде тангенциальным вводом вращательное движение гасится вертикальными перегородками 10 и горизонтальной 11, имеющей отверстия диаметром 100—150 мм.

Верхняя грань взвешенного шлама, образующего в осветлителе контактную среду 12, находится на уровне верхней кромки шламоприемных окон 13 шламоуплотнителя 15. Избыток шлама непрерывно удаляется, для чего часть общего расхода воды («отсечка») отводится из контактной зоны в шламоуплотнитель. В осветлителях производительностью 63—250 м³/ч (см. рис. 1.2, а) шламоприемные окна 13 прорезаны непосредственно в корпусе шламоуплотнителя 15, а в осветлителях производительностью 400—1000 м³/ч (см. рис. 1.2, б) — в шламоприемных трубах 14а.

После зоны контактной среды 12 основной поток проходит зону осветления 16, распределительную решетку 17 и сливается через отверстия в желоб 18. Из желоба вода поступает в распределительное устройство 19, смешива-

ется с осветленной водой, поступающей из шламоуплотнителя, и по трубопроводу 20 отводится в бак известкованной воды.

Шлам оседает в нижней части шламоуплотнителя и по трубопроводам 23 и 24 удаляется из него при продувке (непрерывной и периодической). Для измерения расхода продувочной воды установлена измерительная шайба 25. Для опорожнения шламоуплотнителя предусмотрен трубопровод 29. Осветленная в шламоуплотнителе вода собирается перфорированным коллектором 21 и отводится трубопроводом 22 в распределительное устройство. На отводящей трубе имеется дроссельная заслонка 28 (обычно снабжаемая дистанционным управлением), регулирующая расход воды, поступающей через шламоуплотнитель. Кроме того, на этой трубе установлена задвижка 31, которая при работе осветлителя открыта и закрывается при промывке коллектора шламоуплотнителя водой, подаваемой по трубопроводу 30. По этому же трубопроводу подается вода для обмывки желоба и решетки.

Для сброса песка, поступающего с исходной водой, и крупного шлама служит грязевик 26, в качестве которого используется нижняя конусная часть осветлителя ниже уровня сопла, через него подается обрабатываемая вода. Скопившиеся грубые частицы периодически удаляются через трубопровод 27, он же используется для опорожнения осветлителя. Частота продувок устанавливается, исходя из местных условий (ориентировочно длительность продувки 1—2 мин 1 раз в неделю). При небольших количествах тяжелой грубой взвеси в исходной воде необходимость продувки осветлителя через грязевик вообще отпадает, достаточно продувки шламоуплотнителя. Вода от взрывающей промывки осветлительных фильтров собирается в баке и равномерно подается в осветлитель по трубопроводу 32.

Осветлители и баки известкованной воды устанавливаются, как правило, вне здания. Над осветлителями сооружаются шатры — отапливаемые помещения, имеющие естественное освещение и вентиляцию. Нижние помещения (ограниченные обычно опорными конструкциями осветлителя) соединяются между собой и со зданием водоподготовительной установки. Внутренняя поверхность осветлителя, которая на 0,5 м ниже верхней распределительной решетки, должна иметь противокоррозийное покрытие. Проектом должна предусматриваться надежная тепловая изоляция осветлителей, баков и трубопроводов, расположенных вне здания.

На ВПУ сооружается не менее двух осветлителей; при расширении установки их количество не должно превышать шести. Емкость баков известкованной и коагулированной во-

ды принимается равной часовой производительности осветлителей (без учета запаса воды на взрыхление механических фильтров).

Производительность установки предварительной очистки воды (осветлители, трубопроводы, насосы, емкости баков и пр.) должна выбираться с запасом в 25 % расчетной производительности ВПУ.

Количество шлама, образующегося при известковании с коагуляцией, определяется по уравнению

$$Q_{\text{ш}}^{\text{н}} = B + 50(J_{\text{Ca}}^{\text{н}} + D_{\text{н}}) + 0,56\alpha_{\text{н}}D_{\text{н}} + 53D_{\text{к}} + 29J_{\text{Mg}}^{\text{н}},$$

где $Q_{\text{ш}}^{\text{н}}$ — количество шлама, образующегося в процессе известкования и коагуляции обрабатываемой воды, г/м³; $J_{\text{Ca}}^{\text{н}}$ и $J_{\text{Mg}}^{\text{н}}$ — соответственно кальциевая и магниевая жесткость, удаляемая при известковании и определяемая экспериментально, мг-экв/л; $D_{\text{н}}$ — доза известки при известковании, определяемая по уравнениям, мг-экв/л; $D_{\text{к}}$ — доза коагулянта (сернокислого железа) при известковании, мг-экв/л.

Продувка осветлителя определяется по формуле

$$P = (Q_{\text{ш}}^{\text{н}} - B_{\text{ост}}) \cdot 100 / \delta_{\text{ср}},$$

где P — продувка осветлителя, в % производительности осветлителя: $P = 1,5 \div 3$ %; $Q_{\text{ш}}^{\text{н}}$ — количество шлама, образующегося в процессе коагуляции и известкования; $\delta_{\text{ср}}$ — средняя концентрация взвешенных веществ в уплотненном осадке, в зависимости от времени отстоя воды принимается по табл. 1.5 для осветлителей СКБ ВТИ, рис. 1.2, а; $B_{\text{ост}}$ — остаточное содержание шлама, г/м³.

Содержание сухого вещества в продувочной воде шламоуплотнителя должно быть не менее 75 г/л (желательно до 150 г/л).

Количество шлама, образующегося при коагуляции, определяется из уравнения

$$Q_{\text{ш}}^{\text{к}} = B + 26D_{\text{а}} + 111\alpha_{\text{н}}D_{\text{а}}/100,$$

где $Q_{\text{ш}}^{\text{к}}$ — количество шлама, образующегося при коагуляции воды, г/м³; B — количество взвешенных веществ в исходной воде, г/м³; $D_{\text{а}}$ — доза коагулянта — сернокислого алюминия, г-экв/м³; $\alpha_{\text{н}}$ — количество нерастворимых примесей в коагулянте.

Количество воды, подаваемое на осветлитель Q с учетом собственных нужд осветлителя, м³/ч,

$$Q = Q_{\text{осв}} + PQ_{\text{осв}}/100,$$

где $Q_{\text{осв}}$ — количество воды, выдаваемой осветлителем, м³/ч.

После осветлителей обязательна установ-

Т а б л и ц а 1.5. Средняя концентрация взвешенных веществ в уплотненном осадке, г/л

Характеристика осадка	Продолжительность уплотнения, ч					
	2	3	4	6	8	12
Осадок, образующийся при коагуляции воды с содержанием взвешенных веществ, мг/л:						
100—400	16	19	23	24	25	27
400—1000	20	24	25	27	29	31
выше 1000	24	29	31	33	35	37
Осадок, образующийся при известковании воды:						
с магниезальной жесткостью < 25 %	30	35	37	39	40	41
то же выше 25 %	6	8	10	12	15	17

ка осветлительных фильтров, так как возможно периодическое увеличение мутности воды свыше 5 мг/л, а для некоторых вод с трудом достигается содержание взвешенных веществ 10—15 мг/л, что недостаточно для нормальной эксплуатации установленных после предочистки ионитных фильтров.

1.4.3. Осветление воды на осветлительных (механических) фильтрах

Осветлительные фильтры устанавливаются в случаях, уже указанных в табл. 1.4, и служат для удаления взвешенных веществ. На ВПУ, как правило, осветлительные фильтры устанавливаются после осветлителей, так как очень редки случаи, когда из воды требуется удаление только взвешенных веществ и не применяется коагуляция в осветлителях.

В энергетических установках широко применяются напорные однопоточные фильтры с загрузкой кварцевым песком или дробленым антрацитом, или в этих же фильтрах используют двухслойную загрузку (см. табл. 1.4) — антрацит и кварцевый песок.

При производительности установки более 70 м³/ч устанавливают не менее четырех фильтров. Во время промывки одного из фильтров увеличение скорости фильтрования допускается не более 30%.

Рассматриваются два режима работы осветлительных фильтров: нормальный — при работе всех фильтров с периодическим отключением одного на промывку и форсированный — когда один фильтр в ремонте, а второй периодически отключается на промывку. Отключение фильтра на промывку производится при уменьшении прозрачности фильтрата до 20 см по шрифту или, чаще, при увеличении потери напора на фильтрах до 6–8 м вод. ст. При небольшом содержании взвешенных веществ промывки осуществляются редко (1 раз в 1—3 сут).

Для взрыхляющей промывки фильтрующей загрузки обязательно применение освет-

ленной воды после фильтров.

Основным расчетным фактором для осветлительных фильтров является их производительность, которая кроме заданной величины должна учитывать расход на собственные нужды всех последующих стадий обработки воды. Поэтому при многоступенчатой схеме ВПУ технологические расчеты начинают с хвостовых аппаратов.

Основные технологические данные для расчета осветлительных фильтров приведены в табл. 1.6.

Приближенно необходимая площадь фильтрования F , м², при нормальном режиме определяется из уравнения

$$F = Q\alpha/w_n,$$

где Q — производительность фильтров по осветленной воде, м³/ч; w — скорость фильтрования, м/ч; α — коэффициент, учитывающий расход воды на собственные нужды осветлительных фильтров, ориентировочно принимается равным 1,1, затем при наладке уточняется.

Площадь фильтрования каждого фильтра f' определяется путем подбора соответствующей площади фильтрования стандартных выпускаемых заводами фильтров из уравнения

$$f' = F/(a - 1),$$

где a — количество фильтров.

Площади фильтрования стандартных фильтров насыпного типа в зависимости от диаметра приведены ниже:

Диаметр фильтра, мм	700	1000	1500	2000
Площадь фильтрования f , м²	0,39	0,76	1,72	3,1

Продолжение

Диаметр фильтра, мм	2600	3000	3400
Площадь фильтрования f , мм	5,2	6,95	9,1

Т а б л и ц а 1.6. Технологические данные для расчета осветлительных фильтров

Параметр	Тип фильтра	
	С загрузкой антрацитом	С двухслойной загрузкой кварцевым песком и антрацитом
Диаметр зерен фильтрующего материала, мм:		
антрацит	0,6—1,4	0,7—1,7
кварцевый песок	—	0,5—1,2
Высота фильтрующего слоя, м:		
антрацит	1	0,5—0,6
кварцевый песок	—	0,5—0,6
Насыпная масса фильтрующего материала, т/м³:		
антрацит	0,8	0,8
кварцевый песок	—	1,6
Скорость фильтрования, м/ч:		
нормальный режим	5	10
форсированный режим	7,5	12
Интенсивность взрыхляющей промывки, л/(с·м²)	10—12	14—16*
Продолжительность взрыхляющей промывки водой, мин	20	7—6*
Режим взрыхляющей промывки (после известкования)		
а) совместная водовоздушная промывка:		
интенсивность подачи воды, л/(с·м²)	6	—
интенсивность подачи воздуха, л/(с·м²)	10	—
продолжительность, мин	2—3	—
б) промывка водой:		
интенсивность подачи, л/(с·м²)	12	—
продолжительность (до прозрачности по шрифту), мин	15—20	—
Давление воздуха, МПа	0,3—0,4	—

П р и м е ч а н и е. * Большим значениям интенсивности соответствует меньшая продолжительность промывки.

Для однослойных фильтров, загруженных кварцевым песком, рекомендуется применять водовоздушную промывку в следующем режиме: продувка воздухом с интенсивностью 15—20 л/(с·м²) в течение 1—2 мин, затем совместная водовоздушная промывка с интенсивностью подачи воздуха 15—20 л/(с·м²) и воды 3—4 л/(с·м²) в течение 4—5 мин и последующая подача воды с интенсивностью 6—8 л/(с·м²) в течение 4—5 мин.

Для выбранных стандартных фильтров определяют скорость фильтрования при нормальном режиме (все фильтры работают, один на промывке):

$$\omega_n = (Q + q) / (a - 1),$$

где ω — скорость фильтрования при нормальном режиме, м/ч; q — среднечасовой расход воды на собственные нужды осветлительных фильтров, м³/ч.

Расход воды на одну отмывку осветлительного фильтра d , м³, определяется из уравнения

$$d = 60itf / 100,$$

где i и t — соответственно интенсивность, л/(с·м²), и продолжительность, мин, взрыхляющей промывки фильтра, принимается по табл. 1.7 в зависимости от принятого характера промывки (водой или водой с воздухом) и использования однослойного или двухслойного фильтра.

Среднечасовой расход воды q , м³/ч, на собственные нужды определяется из уравнения

$$q = dra / 24,$$

где r — число промывок осветлительных фильтров, принимают $r = 1 \div 2$ в сутки (в конкретных условиях уточняют при наладке).

Скорость фильтрования при форсированном режиме определяется из уравнения

$$\omega_\phi = (Q + q) / (a - 2),$$

где ω_ϕ — скорость фильтрования при форсированном режиме, м/ч, принимается в пределах, данных в табл. 1.6; 2 — число отключенных фильтров (один — на промывке, один — в резерве). Если скорость фильтрования превышает допускаемую в табл. 1.6, необходимо увеличить диаметр фильтра либо количество установленных фильтров.

Промывка осветлительных фильтров может осуществляться из бака, расположенного на отметке, достаточной для преодоления со-

противления осветлительного фильтра и тракта бак — дренаж фильтра. Емкость бака должна обеспечить промывку фильтра и иметь запас еще на одну промывку сверх расчетного числа. Бак должен заполняться за время, не большее, чем интервалы между промывками фильтров. Допускается производить промывку фильтров из трубопровода осветленной воды, если забор воды не превышает 50 % расхода воды на фильтрах.

При промывке фильтров насосами из баков осветленной воды емкость последних должна предусматривать этот расход и запас воды еще на одну промывку.

Должна быть исключена возможность подсоса воздуха насосами и трубопроводами, подающими промывочную воду на фильтры, а также подпор воды в трубопроводах, отводящих промывочную воду от фильтров.

Скорость воды в подводящих и отводящих трубопроводах следует принимать равной 1,5—2 м/с.

1.5. Схемы обработки воды методами ионного обмена.

Технологические и расчетные данные

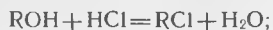
Обработка воды методами ионного обмена основана на пропуске исходной или частично обработанной воды через фильтрующий слой ионообменного материала, практически нерастворимого в воде, но способного взаимодействовать с содержащимися в обрабатываемой воде ионами. Материалы, обладающие свойством обменивать катионы, называются катионитами, а материалы, обладающие свой-

ством обменивать анионы, — анионитами. Чтобы получить нужную ионную форму ионита, проводят регенерацию.

Катиониты при регенерации их растворами NaCl, H₂SO₄, NH₄Cl образуют соответственно натриевую, водородную или аммонийную формы, которые условно можно обозначить следующим образом: NaR, HR, NH₄R.

При пропуске обрабатываемой воды, содержащей катионы Ca²⁺ и Mg²⁺, через отрегенированный катионит протекают реакции обмена ионов Ca²⁺ и Mg²⁺ на ионы Na⁺, H⁺ или NH₄⁺, содержащиеся в катионите; этот процесс называется катионированием.

Аниониты, отрегенированные щелочью (NaOH и др.), образуют гидроксильную форму, условно обозначенную ROH. Если через отрегенированный анионит пропускать раствор кислоты, например HCl, произойдет реакция обмена анионов (анионирование) и осуществится взаимная



нейтрализация ионов H⁺ (кислоты) и ионов OH⁻, вытесненных анионами из анионита. По своей химической природе все катиониты являются кислотами, все аниониты — основаниями. В зависимости от состава функционально активных групп различают типы ионитов по кислотности (или основности), катиониты подразделяют на сильно-, средне- и слабокислотные, соответственно аниониты — на сильно-, средне- и слабосильные. По своим технологическим свойствам они имеют существенные различия (табл. 1.7).

Т а б л и ц а 1.7. Технологическая характеристика ионообменных материалов

Марка ионита	Размер зерен, мм	Насыпная масса, т/м ³		Полная обменная емкость, г-экв/м ³
		товарного продукта	в набухшем состоянии	
К а т и о н и т ы				
Сульфуголь 1-го сорта:				
крупный СК-1	0,5—1,2	0,67—0,7	—	500
мелкий СМ-1	0,25—0,7	0,69—0,79	—	570
Катионит КУ-1	0,3—2,0	0,6—0,73	0,33	650
Катионит КУ-2-8	0,315—1,25	0,7—0,88	0,34	1700
Катионит КБ-4-П2	0,25—1,0	0,68—0,82	0,17—0,33	2800
А н и о н и т ы				
Анионит АН-31	0,4—2,0	0,72—0,75	0,31	1500
Анионит АВ-17-8	0,355—1,25	0,74	0,33	800

П р и м е ч а н и я: 1. Сильноосновный катионит КУ-2-8 работоспособен при температуре до 120—130 °С, стоек к кислотам, щелочам, органическим продуктам.

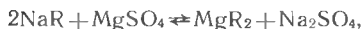
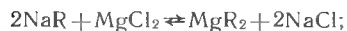
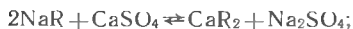
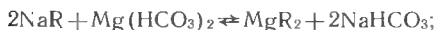
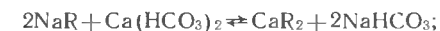
2. Сильнокислотный анионит АВ-17-8 может работать в кислой и нейтральной среде при t < 50°, обычно используется для удаления кремниевой кислоты при химическом обессоливании воды.

Слабоосновными анионитами задерживаются только анионы сильных кислот, анионы слабых кислот HSiO_3^- и HCO_3^- удаляются только сильноосновными анионитами.

На ВПУ энергетических объектов применяются катиониты: сульфуголь (наиболее дешевый), катионит КУ-2 (термостойкий), реже — катионит КУ-1 и слабокислотный КБ-4-П2. Сильнокислотные катиониты КУ-2 и КУ-1 незначительно изменяют обменную емкость с понижением $\text{pH} < 7$. Слабокислотные катиониты проявляют способность к обмену ионов при $\text{pH} > 7$.

1.5.1. Na-катионирование

Этот метод обработки воды основан на пропуске обрабатываемой воды через Na-форму катионита, для чего предварительно катионит регенерируется поваренной солью (NaCl). При Na-катионировании воды протекают следующие реакции:



где NaR , CaR_2 , MgR_2 — солевые формы катионита.

Как видно из приведенных реакций, из обрабатываемой воды удаляются катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} , а в обрабатываемую воду поступают ионы Na^+ , анионный состав воды при этом не изменяется.

Одноступенчатым Na-катионированием можно получить воду с остаточной жесткостью до 0,1 мг-экв/л, однако для получения более глубокоумягченной воды (с остаточной жесткостью 0,01—0,02 мг-экв/л) требуется существенно увеличивать удельный расход соли на регенерацию фильтра, причем необходим тщательный контроль за «проскоком» жесткости. В схеме двухступенчатого Na-катионирования все эти недостатки устраняются и надежно обеспечивается остаточная жесткость фильтрата менее 0,01 мг-экв/л.

Число ступеней катионирования определяется требованиями к обработанной воде; так, для паровых экранированных котлов, где требуется глубокое умягчение воды, целесообразно применение схемы двухступенчатого Na-катионирования; для горячего водоснабжения, если требуется частичное умягчение воды, достаточно одной ступени катионирования.

Na-катионирование применяют для умягчения подземных вод с мутностью не более 5—8 мг/л и окисляемостью не более 15 мг/л O_2 и для вод, прошедших предварительную обработку (коагуляцию — осветление или коагуляцию — известкование — осветление). Технологические данные для расчета Na-катионитных фильтров даны в табл. 1.8 и 1.9 в соответствии с указанными данными в СНиП 2.04.02—84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения».

Исходными данными для расчета Na-катионитных фильтров являются производительность установки (с учетом расхода воды на собственные нужды последующих стадий обработки), общая жесткость обрабатываемой воды и остаточная жесткость фильтрата.

При одноступенчатом катионировании после первой ступени остаточная жесткость должна отвечать требованиям потребителя, при двухступенчатом катионировании она принимается равной 0,1 мг-экв/л.

Расчет Na-катионитных фильтров начинают обычно с подбора диаметра выпускаемых промышленностью фильтров по скорости фильтрования.

Скорость фильтрования определяется из уравнений:

нормальная — при работе всех фильтров

$$w_n = Q_{\text{Na}} / f_{\text{Na}} a;$$

максимальная — при регенерации одного из фильтров

$$w_{\text{макс}} = Q_{\text{Na}} / f_{\text{Na}} (a - 1),$$

где w_n и $w_{\text{макс}}$ — соответственно нормальная и максимальная скорости фильтрования, м/ч, принимаются по табл. 1.18 в зависимости от жесткости обрабатываемой воды и режима работы фильтров (работают все фильтры или один на регенерации);

Q_{Na} — производительность натрий-катионитных фильтров, м³/ч; f_{Na} — площадь фильтрования натрий-катионитного стандартного фильтра, м², принимается по табл. 1.6 для выпускаемых промышленностью фильтров; a — количество работающих фильтров, принимается не менее двух, кроме резервного, который в расчете не учитывается.

Для мягких вод скорость фильтрования может быть решающим фактором выбора диаметра Na-катионитного фильтра; для высокоминерализованных вод с большой жесткостью число регенераций может быть недопустимо большим (более трех в сутки), в этом случае выбор диаметра и числа работающих фильтров решает число регенераций.

Число регенераций каждого Na-катионит-

Т а б л и ц а 1.8. Технологические данные для расчета Na-катионитных фильтров

Показатель	Фильтр I ступени	Фильтр II ступени
Высота слоя катионита (по заводским данным), м	2—2,5	1,5
Крупность зерен катионита, мм	0,5—1,2	0,5—1,2
Количество фильтров (I ступени — не менее двух и один резервный)	По расчету	По расчету
Скорость фильтрования ² , м/ч, нормальная не должна превышать при жесткости воды:		
5 мг-экв/л	25 (35) ¹⁾	Не более 40
5—10 мг-экв/л	15 (25) ¹⁾	
10—15 мг-экв/л	10 (20) ¹⁾	
Потери напора при фильтровании, м	См. табл. 1.9	13—15
Взрыхляющая промывка катионита ³ :		
интенсивность, л/(м ² ·с), при крупности зерен катионита, мм:		
0,5—1,1	4	4
0,8—1,2	5	5
продолжительность, мин	20—30	20—30
Удельный расход соли на регенерацию, г/г-экв, принимая по рис. 1.5 или ориентировочно при двухступенчатом катионировании (остаточной жесткости после первой ступени — 0,1 мг-экв/л) и жесткости обрабатываемой воды, мг-экв/л, не более:		
5	100—120	—
10	120—150	—
15	170—250	—
20	275—300	—
Концентрация регенерационного раствора, %	5—8	8—12
Скорость пропуска регенерационного раствора, м/ч	3—4	3—5
Рабочая обменная емкость катионита, г-экв/м ³	По формуле	250—300
Отмывка катионита от продуктов регенерации:		
скорость пропуска отмывочной воды через катионит, м/ч	6—8	6—8
удельный расход отмывочной воды, м ³ /м ³ катионита, при загрузке фильтра:		
сульфоуглем	5	6
катионитом КУ-2	6	8

Примечания: 1. В скобках даны скорости фильтрования при загрузке мелким катионитом с крупностью зерен 0,3—0,8 мм.

2. Допускается кратковременное увеличение скорости на 10 м/ч по сравнению с указанными при выключении фильтра на регенерацию (максимально допустимая скорость).

Скорость фильтрования менее 5 м/ч не допускается из-за возможного резкого снижения обменной емкости катионита.

3. Вода на взрыхляющую промывку должна подаваться насосами из бака, объем которого выбирается в зависимости от диаметра и числа фильтров, подлежащих одновременной промывке; кроме того, этот объем должен обеспечивать одну дополнительную промывку сверх расчетной. Насос, подающий воду в промывочный бак, должен обеспечивать его наполнение за время, меньшее, чем интервалы между промывками фильтров.

Допускается взрыхляющая промывка из трубопровода осветленной воды, если расход на взрыхление не превышает 50 % общего расхода фильтрата.

Промывка может осуществляться из бака осветленной воды, емкость которого должна предусматривать расход воды на промывку и дополнительную промывку сверх расчетного их числа. Скорости в трубопроводах, подающих и отводящих промывную воду, принимаются равными 1,5—2 м/с.

Должны быть исключены возможность подсоса воздуха промывочным трубопроводом, а также подпор воды в отводящих трубопроводах.

4. Число регенераций каждого Na-катионитного фильтра первой ступени в сутки принимается от одного до трех.

5. При производительности установки менее 20 м³/ч целесообразно при проектировании рассмотреть вариант промывки и регенерации только в дневную смену.

ного фильтра в сутки определяется по формуле

$$n = 24 J_0 Q_{Na} / [f_{Na} H_{cl} E_p^{Na} a],$$

где n — число регенераций каждого фильтра

в сутки; J_0 — общая жесткость воды, поступающей на Na-катионитные фильтры, мг-экв/л; H_{cl} — высота слоя катионита, м; E_p^{Na} — рабочая обменная емкость катионита при Na-

**Т а б л и ц а 1.9. Потеря напора (м) в катионитных фильтрах
(включены потери в коммуникациях фильтра, в дренажной системе и катионите)**

Высота слоя, м, катионита с крупностью зерен 0,5—1,1 мм и 0,8—1,2 мм	Скорость фильтрования, м/ч				
	5	10	15	20	25
2	4 (5)	5 (6)	5,5	6 (7)	7 (9)
2,5	4,5 (5,5)	5,5 (6,5)	6 (7)	6,5 (7,5)	7,5 (9,5)

Примечание. В скобках даны потери напора для мелкого катионита (зерна крупностью 0,3—0,8 мм).

катионировании, г-экв/м³. Она определяется по формуле

$$E_p^{Na} = \alpha_{Na} \beta_{Na} E_{пол} - 0,5 q_{уд} Ж_0,$$

где α_{Na} — коэффициент эффективности регенерации Na-катионита. Зависимость его от удельного расхода соли $q_{уд}$ на регенерацию приведена ниже:

$q_{уд}$	100	150	200	250	300
α_{Na}	0,62	0,74	0,81	0,86	0,9

Удельный расход воды $q_{уд}$ на отмывку катионита, м³ на 1 м³ катионита, принимается по табл. 1.8; 0,5 — доля умягчения отмывочной воды.

Коэффициент β_{Na} , учитывающий снижение обменной емкости катионита по Ca и Mg вследствие влияния ионов Na⁺, содержащихся в исходной воде, приводится ниже:

$C_{Na}/Ж_0$	0,01	0,05	0,1
β_{Na}	0,93	0,88	0,83

Продолжение

$C_{Na}/Ж_0$	0,5	1	5	10
β_{Na}	0,7	0,65	0,54	0,5

Полная обменная емкость катионита $E_{пол}$, г-экв/м³, принимается по заводским данным, при отсутствии этих данных в расчетах допускается принимать ее по табл. 1.10.

Регенерацию катионита производят технической поваренной солью. Расход

Т а б л и ц а 1.10. Ориентировочные значения $E_{пол}$

Катионит	Крупность зерен, мм	$E_{пол}$, г-экв/м ³
Сульфуголь	0,3—0,8	550
Сульфуголь	0,5—1,1	500
Катионит КУ-2	0,8—1,2	1700

100 %-ной соли на одну регенерацию Na-катионитного фильтра определяется по формуле

$$Q_c^{Na} = E_p^{Na} f_{Na} H_{сл} q_c / 1000,$$

где Q_c^{Na} — расход поваренной соли на одну регенерацию фильтра, кг; f_{Na} — площадь фильтрования Na-катионитного фильтра, м², принимается по сечению пустого фильтра; q_c — удельный расход соли на регенерацию, г/г-экв обменной емкости катионита.

Удельный расход соли на регенерацию Na-катионитных фильтров первой ступени в зависимости от жесткости обрабатываемой воды и требуемой жесткости фильтрата принимают по рис. 1.3.

Расход технической соли в сутки определяется по формуле

$$Q_{т.с} = Q_c^{Na} n_a \cdot 100 / p,$$

где $Q_{т.с}$ — расход технической соли на регенерацию фильтров, кг/сут; p — содержание NaCl в технической соли, %.

Расходы воды на регенерацию Na-катионитного фильтра складываются из расходов воды на взрыхляющую промывку, приготовление

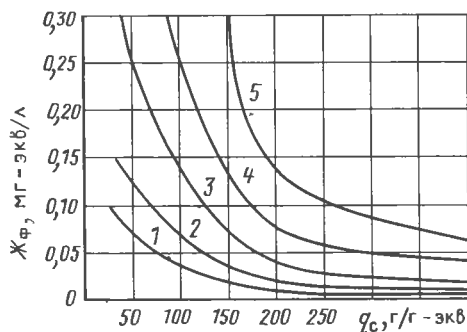


Рис. 1.3. График для определения удельного расхода соли q_c на регенерацию в зависимости от требуемой жесткости фильтрата $Ж_ф$ и жесткости исходной воды (мг-экв/л): 1 — 5; 2 — 7; 3 — 10; 4 — 15; 5 — 20

регенерационного раствора, отмывку катионита от продуктов регенерации и избытка NaCl.

Взрыхление слоя катионита необходимо для устранения слеживаемости и удаления измельченных частиц катионита. Расход воды на одну взрыхляющую промывку фильтра определяется как, м^3

$$Q_{\text{взр}} = i f_{\text{Na}} \cdot 60 t_{\text{взр}} / 1000,$$

где i — интенсивность взрыхляющей промывки фильтров, $\text{л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$; $t_{\text{взр}}$ — продолжительность взрыхляющей промывки, мин; принимается по табл. 1.8.

Расход воды на приготовление регенерационного раствора соли $Q_{\text{р.р.}}$, м^3 , определяется из уравнения

$$Q_{\text{р.р.}} = Q_{\text{с.н}}^{\text{Na}} \cdot 100 / 1000 b \rho_{\text{р.р.}},$$

где b — концентрация регенерационного раствора, %, принимается по табл. 1.8; $\rho_{\text{р.р.}}$ — плотность регенерационного раствора, $\text{т}/\text{м}^3$, принимается по табл. П.61

Расход воды на отмывку катионита от продуктов регенерации $Q_{\text{от}}$, м^3 , определяется из уравнения

$$Q_{\text{от}} = q_{\text{от}} f_{\text{Na}} H_{\text{сл}},$$

где $q_{\text{от}}$ — удельный расход воды на отмывку катионита, м^3 на 1 м^3 катионита, принимается по табл. 1.8.

Расход воды на одну регенерацию фильтра $Q_{\text{с.н}}^{\text{Na}}$, м^3 , без использования отмывочных вод на взрыхляющую промывку составляет:

$$Q_{\text{с.н}}^{\text{Na}} = Q_{\text{взр}} + Q_{\text{р.р.}} + Q_{\text{от}}.$$

То же с использованием отмывочных вод на взрыхляющую промывку $Q_{\text{с.н}}^{\text{Na}}$:

$$Q_{\text{с.н}}^{\text{Na}} = Q_{\text{р.р.}} + Q_{\text{от}}.$$

Среднечасовой расход воды на собственные нужды Na-катионитных фильтров $Q_{\text{с.н}}^{\text{Na}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$, определяется из уравнения

$$Q_{\text{с.н}}^{\text{Na}} = Q_{\text{с.н}}^{\text{Na}} a n / 24.$$

Время между регенерациями фильтра определяется из уравнения

$$T_{\text{Na}} = 24 / n - t_{\text{рег}}^{\text{Na}} / 60,$$

где T_{Na} — межрегенерационный период каждого Na-катионитного фильтра, ч; n — количество регенераций каждого катионитного фильтра в сутки; $t_{\text{рег}}^{\text{Na}}$ — время регенерации фильтра, мин.

Время регенерации фильтра определяют по формуле

$$t_{\text{рег}}^{\text{Na}} = t_{\text{взр}} + t_{\text{р.р.}} + t_{\text{от}},$$

где $t_{\text{взр}}$ — продолжительность взрыхляющей промывки, мин, принимается по табл. 1.8; $t_{\text{р.р.}}$ — время пропуска регенерационного раствора через фильтр, мин, определяется из уравнения

$$t_{\text{р.р.}} = Q_{\text{р.р.}} \cdot 60 / \omega_{\text{р.р.}} f_{\text{Na}},$$

где $Q_{\text{р.р.}}$ — количество регенерационного раствора, м^3 ; $\omega_{\text{р.р.}}$ — скорость пропуска регенерационного раствора, $(\text{м}/\text{ч})$, принимается по табл. 1.10; $t_{\text{от}}$ — время отмывки от продуктов регенерации, мин, определяется из уравнения

$$t_{\text{от}} = Q_{\text{от}} \cdot 60 / \omega_{\text{от}} f_{\text{Na}},$$

где $Q_{\text{от}}$ — расход воды на отмывку, м^3 , определяется из уравнения $Q_{\text{от}} = q_{\text{от}} f_{\text{Na}} H_{\text{сл}}$; $\omega_{\text{от}}$ — скорость отмывки, $\text{м}/\text{ч}$, принимается по табл. 1.8.

Количество одновременно регенерируемых фильтров определяется по уравнению

$$n_{\text{о.р.}} = n a t_{\text{рег}}^{\text{Na}} / 24,$$

где n — количество регенераций каждого фильтра; a — количество одновременно работающих фильтров.

Установить совпадение регенераций, т. е. когда $n_{\text{о.р.}} > 1$, важно при автоматизации фильтров для определения количества устанавливаемых командных электрических приборов (КЭП).

Расчет Na-катионитных фильтров второй ступени аналогичен расчету фильтров первой ступени, технологические данные для расчета приведены в табл. 1.8. В отличие от фильтров первой ступени при расчете Na-катионитных фильтров второй ступени принимают жесткость обрабатываемой воды $0,1 \text{ мг-экв}/\text{л}$, скорость фильтрования до $40 \text{ м}/\text{ч}$, высоту слоя катионита $1,5 \text{ м}$, удельный расход соли на регенерацию катионита $300 \text{ } 400 \text{ г}/\text{г-экв}$, концентрацию регенерационного раствора $8 - 12 \%$, потерю напора $13 - 15 \text{ м}$, рабочую емкость поглощения катионита $250 - 300 \text{ г-экв}/\text{м}^3$, отмывку катионита предусматривают фильтратом первой ступени катионирования.

Жесткость фильтрата после второй ступени Na-катионирования принимают равной $0,01 \text{ мг-экв}/\text{л}$.

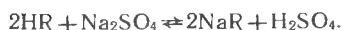
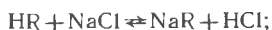
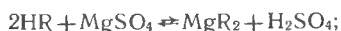
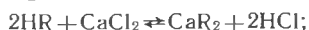
На второй ступени обычно устанавливаются два фильтра специальной конструкции с меньшей высотой фильтрующего слоя ($1,5 \text{ м}$). На ВПУ малой производительности в целях унификации оборудования на обеих ступенях устанавливают Na-катионитные фильтры первой ступени, при этом устанавливается не менее четырех фильтров, из них два работают как фильтры первой ступени, один — второй ступени, один — резервный,

который при регенерации фильтра второй ступени используется на второй ступени, а при ремонте одного из фильтров — как резервный.

Для высокоминерализованных вод целесообразно применение противоточного или ступенчато-противоточного Na-катионирования.

1.5.2. H-катионирование

Метод H-катионирования основан на пропуске обрабатываемой воды через катионит, отрегенированный кислотой. В процессе фильтрации катионы, содержащиеся в обрабатываемой воде, обмениваются на ионы водорода, содержащиеся в катионите, при этом протекают следующие реакции:



Наряду с вышеприведенными реакциями протекает процесс вытеснения из катионита ранее поглощенных ионов Na^+ ионами Ca^{2+} и Mg^{2+} , вследствие чего катионит по ионам Na^+ истощается быстрее, чем по ионам Ca^{2+} и Mg^{2+} , которые, являясь 2-валентными, сорбируются катионитом лучше. Из-за неодинаковой сорбируемости ионов различной природы их «проскок» в фильтрат происходит неодновременно.

При H-катионировании природных вод до момента «проскока» натрия в H-катионированной воде содержатся только кислоты (см. реакции), при этом кислотность фильтрата получается равной суммарной концентрации хлоридов и сульфатов в обрабатываемой воде.

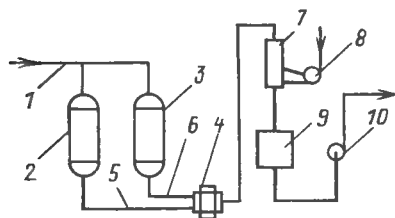


Рис. 1.4. Схема параллельного H — Na-катионирования:

1 — исходная вода; 2 — H-катионитные фильтры; 3 — Na-катионитные фильтры; 4 — смеситель; 5 — H-катионированная вода; 6 — Na-катионированная вода; 7 — декарбонизатор; 8 — вентилятор к декарбонизатору; 9 — бак декарбонизированной воды; 10 — насос

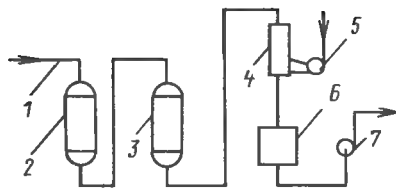


Рис. 1.5. Схема H-катионирования с «голодной» регенерацией фильтров:

1 — исходная вода; 2 — H-катионитные фильтры с «голодной» регенерацией; 3 — буферные (нерегенерируемые) фильтры; 4 — декарбонизатор; 5 — вентилятор к декарбонизатору; 6 — бак декарбонизированной воды; 7 — насос

При работе H-катионитного фильтра от момента «проскока» натрия до момента «проскока» жесткости в фильтрате происходит нарастание концентрации натрия и соответственно снижается кислотность воды.

В зависимости от требований к качеству обработанной воды технология H-катионирования видоизменяется. Так, например, H-катионирование с удалением из обрабатываемой воды натрия осуществляется в схемах частичного или полного химического обессоливания воды. Для снижения щелочности обрабатываемой воды возможно осуществить схему параллельного H- Na-катионирования (рис. 1.4), однако благодаря ряду преимуществ более широкое применение нашла схема H-катионирования с «голодной» регенерацией фильтров и последующим Na-катионированием (рис. 1.5).

Применение H-катионирования в различных схемах обработки воды и рекомендации к их применению даны в табл. 1.11.

1.5.3. H-катионитные фильтры в схеме параллельного H⁺ — Na-катионирования

Все технологические схемы H- Na-катионирования воды преследуют цель умягчать воду и одновременно снижать ее щелочность и солесодержание, а также удалять образующуюся угольную кислоту.

Схему параллельного H- Na-катионирования следует применять в случаях, когда нельзя использовать технологию H-катионирования с «голодной» регенерацией фильтров (не подходит состав исходной воды) или требуется более глубокое снижение щелочности (до 0,3—0,4 мг-экв/л).

H- и Na-катионитные фильтры в этой схеме работают до проскока катионов жесткости, жесткость фильтрата после них составляет 0,1 мг-экв/л.

Т а б л и ц а 1.11. Н-катионирование в различных схемах обработки воды

Технологическая схема обработки воды	Показатель отключения Н-катионитного фильтра на регенерацию	Результат обработки воды	Рекомендации к применению
Н-катионирование с «голодной» регенерацией фильтров и последующим фильтрованием через буферные саморегенерирующие фильтры	Повышение щелочности фильтрата	$Щ_0 \leq 0,7 \div 1,5$ мг-экв/л; $Ж_0 = Ж_n + (0,7 \div 1,5)$ мг-экв/л; снижение соледержания	См. п. 1.5.4, рис. 1.6
Последовательное Н—Na-катионирование с «голодной» регенерацией Н-катионитных фильтров	То же	$Щ_0 \leq 0,7$ мг-экв/л; $Ж_0 = 0,01$ мг-экв/л; снижение соледержания	Схема используется при подготовке добавка к питательной воде паровых котлов, испарителей и т. п.
Параллельное Н—Na-катионирование	Повышение общей жесткости фильтрата	$Ж_0 = 0,1$ мг-экв/л; $Щ_0 = 0,4$ мг-экв/л; снижение соледержания. При наличии Na-катионитного фильтра второй ступени $Ж_0 = 0,01$ мг-экв/л	См. рис. 1.7. Применяется, когда по составу исходной воды невозможно осуществить схему с «голодной» регенерацией. Пригодна для обработки мало- и среднеминерализованных вод при содержании $(Cl^- + SO_4^{2-}) \leq 4$ мг-экв/л; $Na^+ \leq 2$ мг-экв/л
Частичное химическое обессоливание	«Проскок» жесткости	$Ж_0 < 0,1$ мг-экв/л; снижение щелочности; снижение соледержания	См. п. 1.5.5, рис. 1.9, а. Схема используется, когда не требуется удалять из воды ионы натрия
Частичное химическое обессоливание	Снижение кислотности фильтрата	Снижение соледержания, удаление углекислоты; удаление части Na^+ в соответствии с необходимым снижением соледержания	См. п. 1.5.5, рис. 1.9, б, в
Полное химическое обессоливание	«Проскок» ионов натрия	Полное удаление катионов, анионов и кремниевой кислоты	В котельных низкого и среднего давления не применяется

При смешении потоков Н-катионированной воды, содержащей сильные кислоты H_2SO_4 и HCl , с Na-катионированной водой, содержащей $NaHCO_3$, происходят реакции нейтрализации:



Остаточная щелочность при смешении принимается 0,3—0,4 мг-экв/л.

Свободная углекислота, образовавшаяся при нейтрализации и в процессе Н-катионирования, удаляется в декарбонизаторе (см. § 1.6).

Расходы воды, подаваемой на Н- и Na-катионитные фильтры, в схеме параллельного Н—Na-катионирования определяются по формулам:

расход воды, подаваемой на Н-катионитные фильтры,

$$Q^H = Q, (Ш_0 - Ш_{\text{ост}}) / (A + Ш_n);$$

расход воды, подаваемой на Na-катионит-
ные фильтры,

$$Q^{\text{Na}} = Q_y - Q^H,$$

где Q — производительность Н- Na-катионит-
ной установки, учитывающей требуемый по-
требителем максимальный расход воды, с уче-
том собственных нужд каждой из последую-
щих стадий обработки воды, м³/ч; Q^H и Q^{Na} —
производительность соответственно Н- и Na-
катионитных фильтров, м³/ч; $Ш_0$ — щело-
чность исходной воды, мг-экв/л; $Ш_{\text{ост}}$ — требу-
емая щелочность умягченной воды, мг-экв/л;
 A — суммарное содержание в исходной воде
анионов сильных кислот (сульфатов, хлори-
дов, нитратов и др.), мг-экв/л. Технологиче-
ские данные для расчета Н-катионитных
фильтров приведены в табл. 1.12.

Расчет фильтров и трубопроводов (учиты-
вая колебания качества исходной воды) сле-
дует производить при наибольшей нагрузке на
Н-катионитные фильтры, наибольшей щелоч-
ности воды $Ш_0$ и наименьшем содержании
в ней анионов сильных кислот A , при наиболь-
шей нагрузке на Na-катионитные фильтры —
в период наименьшей щелочности воды и на-
ибольшем содержании в ней анионов сильных
кислот.

Площадь Н-катионитных фильтров опре-
деляют путем подбора диаметра выпускаемых
промышленностью фильтров, учитывая скоро-
сти фильтрования:

$$\omega_p = Q^H / (f_H a);$$

$$\omega_m = Q^H / f_H (a - 1),$$

где ω_p и ω_m — соответственно рекомендуемая
и максимальная скорости фильтрования

Т а б л и ц а 1.12. Технологические данные для расчета Н-катионитных фильтров

Показатель	Н-катионирование	
	обычное	противоточное
Высота слоя катионита, м	2,5	3,3
Допустимая скорость фильтрования, м/ч	5—30	
Рекомендуемая скорость фильтрования, м/ч (в скоб- ках — максимальная при регенерации одного из филь- тров), при жесткости обрабатываемой воды, мг-экв/л, менее:		
5	20 (30)	
10	15 (25)	
15	10 (20)	
Потери напора при фильтровании, м	По табл. 1.11	
Взрыхляющая промывка катионита:		
интенсивность, л/(м ² ·с)	По табл. 1.8	
продолжительность, мин	То же	
Количество регенераций каждого (кроме резервного) фильтра в сутки при наименее благоприятном качестве воды в зависимости от степени автоматизации и произ- водительности ВПУ и марки катионита	Не менее 1 и не более 3	
Регенерация катионита:		
удельный расход серной кислоты, г/г-экв	По графику рис. 1.8	
концентрация раствора при загрузке:		
катионитом КУ-2, %	Нарастающей концентрацией ¹ :	
сульфоуглем	1 → 3 → 6	
Скорость пропуска регенерационного раствора, м/ч	1—1,5	
Отмывка катионита ³ :	Не менее 10	
удельный расход, м ³ /м ² :	Осветленной	
для сульфоугля	водой	
для КУ-2	Н-катиони-	
скорость пропуска отмывочной воды, м/ч	рованной водой	
Общая продолжительность регенерации, ч	5	
	6,5	
	Не менее 10	
	По расчету	

П р и м е ч а н и я: 1. Применение нарастающей концентрации кислоты (от 1 до 6 %) позволяет уве-
личить емкость поглощения катионита на 30—35 %.

2. Отмывка катионита заканчивается при кислотности фильтрата, равной сумме хлоридов и суль-
фатов в воде, поступающей на отмывку.

3. Первую половину отмывочной воды следует направлять на нейтрализацию и в накопители,
вторую половину — в баки для взрыхления катионита

в Н-катионитных фильтрах, принимаются по табл. 1.12; f_H — площадь фильтрования Н-катионитного фильтра, m^2 , принимается по стандартным, выпускаемым заводами, фильтрам (см. табл. 1.6); a — количество рабочих Н-катионитных фильтров, без резервного $a-1$ — число рабочих фильтров при регенерации одного из них.

Количество рабочих Н-катионитных фильтров должно быть не менее двух. Количество резервных фильтров следует принимать: один — при количестве рабочих до шести и два — при большем количестве.

Резервные На-катионитные фильтры в схеме параллельного Н—На-катионирования устанавливать не следует, но должна быть предусмотрена возможность использования резервных Н-катионитных фильтров в качестве На-катионитных, для чего к двум-трем фильтрам должен быть предусмотрен подвод регенерационного раствора соли.

Число регенераций каждого Н-катионитного фильтра определяется по формуле

$$n = 24Q_y^H (Ж_0 - Ж_{ост}) / f_H H_{сл} a_n E_p^H,$$

где $n=1 \div 3$ — число регенераций каждого фильтра в сутки; $Ж_0$ и $Ж_{ост}$ — жесткость соответственно исходной воды и остаточная после Н-катионитных фильтров, мг-экв/л; $H_{сл}$ — высота слоя катионита в выбранном стандартном фильтре, м; a_n — число рабочих Н-катионитных фильтров; E_p^H — рабочая обменная емкость катионита при Н-катионировании, г-экв/ m^3 ; она определяется по формуле

$$E_p^H = \alpha_n \beta_n E_{пол} - 0,5q_{уд} C_k,$$

где α_n — коэффициент эффективности регенерации, принимается в зависимости от удельного расхода серной кислоты q_k :

q_k	50	60	70	80
α_n	0,68	0,71	0,75	0,78

Продолжение

q_k	90	100	110	120
α_n	0,82	0,85	0,86	0,87

Продолжение

q_k	130	140	150	200	250
α_n	0,89	0,9	0,91	0,92	0,93

Полная обменная емкость катионита $E_{пол}$ принимается по паспортным заводским данным, при отсутствии таковых — по табл. 1.10; 0,5 — доля умягчения отмывочных вод; $q_{уд}$ — удельный расход на отмывку катионита; принимается равным 4—5 m^3 на 1 m^3 катионита;

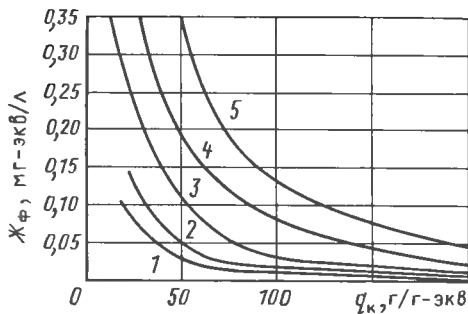


Рис. 1.6. График для определения удельного расхода серной кислоты q_k на регенерацию в зависимости от требуемой жесткости фильтра $Ж_ф$ и общего солевого содержания исходной воды (мг-экв/л):

1—5; 2—7; 3—10; 4—15; 5—20

C_k — суммарная концентрация в исходной воде катионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ мг-экв/л.

Регенерацию Н-катионитных фильтров осуществляют 1—1,5 %-ным раствором серной кислоты. Допускается разбавление серной кислоты до нужной концентрации непосредственно перед фильтром — в эжекторе. Возможно применение, при обосновании, для регенерации других кислот: соляной, азотной (для КУ-2); преимущество серной кислоты состоит в том, что она дешевле и ее концентрированные растворы (>75 %) не разрушают углеродистую сталь, из которой делают баки, мерники и др.

Расход серной кислоты для регенерации Н-катионитных фильтров в схеме параллельного Н—На-катионирования определяется из уравнения

$$Q_k^p = q_k f_H H_{сл} E_p^H / 1000,$$

где Q_k^p — расход 100 %-ной серной кислоты на одну регенерацию Н-катионитного фильтра; кг; q_k — удельный расход кислоты на регенерацию, г/г-экв рабочей обменной емкости катионита, принимается по графику, рис. 1.6 в зависимости от требуемой жесткости фильтра и солевого содержания исходной воды.

Принятый удельный расход кислоты одновременно должен обеспечивать приемлемую рабочую обменную емкость катионита.

Расход 100 %-ной серной кислоты на регенерацию в сутки определяется из уравнения

$$Q_k^{сут} = Q_k^p n a,$$

технической серной кислоты — из уравнения

$$Q_{к.т}^{сут} = Q_k^{сут} \cdot 100 / C,$$

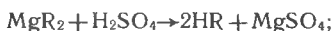
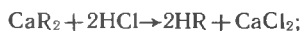
где $C \geq 92\%$ — содержание H_2SO_4 в технической серной кислоте, используемой на ВПУ.

Расчеты по расходу воды на взрыхление катионита, приготовление регенерационного раствора, отмычку катионита выполняются так же, как и при «голодном» режиме регенерации.

1.5.4. Н-катионирование с «голодной» регенерацией фильтров

При обычном Н-катионировании регенерация проводится с удельным расходом кислоты, в 2,5—2 раза больше теоретически необходимого, который отвечает процессу эквивалентного обмена катионов между раствором и катионитом. Избыток кислоты, не участвующий в реакциях обмена ионов, сбрасывается из фильтра вместе с продуктами регенерации. При «голодной» регенерации Н-катионитного фильтра удельный расход кислоты равен его теоретическому удельному расходу, т. е. 1 г-экв/г-экв, или в пересчете на граммы для H_2SO_4 — 49 г/г-экв. Все ионы водорода регенерационного раствора при этом полностью задерживаются катионитом, вследствие чего сбрасываемый регенерационный раствор и отмывочные воды не содержат кислоты. В отличие от обычных Н-катионитных фильтров, в которых весь слой катионита при регенерации переводится в Н-форму, при «голодном» режиме регенерируются, т. е. переводятся в Н-форму, только верхние слои, а нижние слои остаются в солевых формах и содержат катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} и Na^+ .

В верхних слоях катионита, отрегенированного «голодной» нормой кислоты, при работе фильтра имеют место все реакции ионного обмена, приведенные в п. 1.5.2. В нижележащих, неотрегенированных слоях катионита ионы водорода образовавшихся минеральных кислот обмениваются на ионы Ca^{2+} , Mg^{2+} и Na^+ по уравнениям



т. е. происходит нейтрализация кислотности воды и при этом восстанавливается ее некарбонатная жесткость, а зона слоя, содержащего ионы H^+ , смещается постепенно книзу.

Так как содержащаяся в воде угольная кислота является слабой, в реакциях ионного обмена она может участвовать лишь после удаления сильных кислот. В самых нижних слоях фильтра этот процесс завершиться до полного восстановления карбонатной жесткости не успевает. Поэтому фильтрат имеет малую карбонатную жесткость (численно она равна щелочности) и содержит много углекислоты. К моменту окончания рабочего цикла фильтра ионы водорода, введенные в катионит

при регенерации, полностью удаляются из катионита в виде H_2CO_3 , которая находится в равновесии с дегидратированной формой CO_2 ($\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$).

Технология Н-катионирования с «голодной» регенерацией обеспечивает получение фильтрата с минимальной щелочностью (исключение сброса кислых стоков при регенерации и кислого фильтрата в рабочем цикле). Она рекомендована для обработки природных вод определенного состава и при использовании катионита средне- или слабокислотного типа при условии правильного осуществления режима регенерации.

При непостоянстве качества исходной воды, неточном соблюдении рекомендаций по применению рассматриваемой технологии Н-катионирования во избежание колебаний щелочности и проскоков кислого фильтрата после Н-катионитных фильтров с «голодной» регенерацией в схеме ВПУ устанавливаются буферные регенерирующие слои фильтры с высотой слоя катионита 2 м и скоростью фильтрования до 40 м/ч. К буферным фильтрам не допускается подвод регенерационного раствора кислоты; взрыхляющая промывка осуществляется осветленной исходной водой.

Разработанная Н. П. Субботиной (МЭИ) в пятидесятые годы технология Н-катионирования с «голодной» регенерацией предназначена для обработки природных вод гидрокарбонатного класса. В гидрохимии к водам этого класса принято относить воды, в которых из числа главных анионов (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) наибольшую концентрацию, выраженную в мг-экв/л, имеет ион HCO_3^- . Воды около 80 % рек СССР принадлежат к гидрокарбонатному классу.

В процессе Н-катионирования с «голодной» регенерацией происходит частичное умягчение воды и существенное снижение ее щелочности; в результате удаления карбонатной жесткости достигается уменьшение общего соледержания воды; концентрация углекислоты увеличивается на величину снижения щелочности. На эффект очистки воды влияет присутствие в исходной воде ионов натрия. Когда концентрация натрия невелика, общая жесткость фильтрата по величине близка к некарбонатной жесткости исходной воды и незначительно изменяется на протяжении рабочего цикла фильтра, так же как и общая щелочность фильтрата, которая составляет 0,3—0,5 мг-экв/л. Когда в исходной воде много натрия, щелочность фильтрата от начала рабочего цикла снижается, затем возрастает и в среднем за цикл составляет 0,7—0,8 мг-экв/л; в начале и конце рабочего цикла получается глубокоумягченный фильтрат, появле-

Т а б л и ц а 1.13. Область применения Н-катионирования с «голодной» регенерацией

Исходная вода гидрокарбонатного класса	Рабочая обменная емкость катионита сульфогугля (КБ-4), г-экв/м ³	Удельный расход серной кислоты на регенерацию, г/г-экв	Щелочность обработанной воды, мг-экв/л	Примечание
Слабо- и средне-минерализованная, $0 < K < 1, 1 > A > 0,5$	300 (600)	49	0,3—0,5	В течение фильтроцикла щелочность фильтрата изменяется незначительно
Средне- и высоко-минерализованная, $K > 1, 1 < A < 10$	250 (500)	49	0,7—1,5	Средняя щелочность за фильтроцикл не менее 0,7—0,8 мг-экв/л, жесткость появляется в средней части фильтроцикла, а затем быстро снижается

ние некарбонатной жесткости наблюдается в средней части фильтроцикла.

Если для ионного состава исходной воды ввести обозначения для соотношения концентраций катионов и анионов в виде выражений

$$K = \text{Na}^+ / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) = \text{Na}^+ / \text{Ж}_0;$$

$$A = \text{HCO}_3^- / (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}),$$

где Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} — концентрации в воде соответственно ионов натрия, кальция и магния, мг-экв/л; HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} — концентрации в воде соответственно бикарбонатов, хлоридов и сульфатов, мг-экв/л; Ж_0 — общая жесткость исходной воды, мг-экв/л, то условия применения Н-катионирования с «голодной» регенерацией фильтров определяются данными, приведенными в табл. 1.13.

Расчет Н-катионитных фильтров в схеме Н-катионирования с «голодной» регенерацией. Установив возможность применения рассматриваемой схемы для данной исходной воды по скорости фильтрования, подбирают диаметр стандартного Н-катионитного фильтра.

Рекомендуемая и максимальная скорости фильтрования определяются по формулам соответственно

$$w_p = Q_n / f_n a;$$

$$w_{\max} = Q_n / f_n (a_n - 1),$$

где w_p и $w_{\max}$ — рекомендуемая и максимальная скорости фильтрования, м/ч, принимаются по табл. 1.16; Q_n — производительность Н-катионитных фильтров, м³/ч; f_n — площадь поперечного сечения фильтра, м²; a_n — число Н-катионитных фильтров принимается не менее двух, кроме резервного; $a_n - 1$ — количество рабочих фильтров при регенерации одного из них.

Решающим фактором при выборе диаметра и числа фильтров является число регенераций каждого фильтра в сутки, которое обычно принимается от 1 до 3 и определяется по формуле

$$n_n = 24 Q_n (\text{Ж}_k - \text{Ж}_k^{\text{ост}}) / f_n H_{cl} a_n E_p^r,$$

где Ж_k и $\text{Ж}_k^{\text{ост}}$ — соответственно карбонатная жесткость исходной воды и карбонатная жесткость (она же щелочность) Н-катионированной воды, мг-экв/л; H_{cl} — высота слоя катионита, м; E_p^r — рабочая обменная емкость катионита при Н-катионировании с «голодной» регенерацией: принимается для сульфогугля равной 300, для КБ-4 600 г-экв/м³; фильтр отключается на регенерацию при повышении карбонатной жесткости сверх заданной ($\text{Ж}_k^{\text{ост}}$).

Расход 100 %-ной серной кислоты на одну регенерацию Н-катионитного фильтра при «голодной» регенерации Q_k^r , кг, определяется по уравнению

$$Q_k^r = 49 f_n H_{cl} E_p^r / 1000,$$

где 49 — удельный расход серной кислоты при «голодной» регенерации, г/г-экв.

Расход технической серной кислоты в сутки, кг/сут, определяется по формуле

$$Q_{k,t}^r = Q_k^r n_n a_n \cdot 100 / C,$$

где $C \geq 92$ %-содержание H_2SO_4 в технической серной кислоте, используемой для энергетических целей.

Расход воды на одну регенерацию Н-катионитных фильтров складывается из:

1) расхода воды на взрыхляющую промывку катионита $Q_{в,м}^r$, м³, рассчитываемого так же, как и для Na-катионитных фильтров;

2) расхода воды на приготовление регенерационного раствора, м³:

$$Q_{p,p}^r = Q_k^r \cdot 100 / 1000 b p_{p,p},$$

где $b = 0,7 \div 1\%$ — концентрация регенерационного раствора; $p_{p,p}$ — плотность регенерационного раствора в зависимости от концентрации H_2SO_4 , принимается по табл. П.5;

3) расхода воды на отмывку катионита от продуктов регенерации, m^3 :

$$Q_{от}^r = q_{от,n}^r H_{сл},$$

где $q_{от}^r$ — удельный расход воды на отмывку катионита, m^3/m^3 , принимается по табл. 1.12.

Расход воды на одну регенерацию Н-катионитного фильтра без использования отмывочных вод на взрыхление, m^3 ,

$$Q_{с.н.}^r = Q_n^r + Q_{p,p}^r + Q_{от}^r.$$

То же с учетом использования отмывочных вод для взрыхляющей промывки катионита, m^3

$$Q_{с.н.н}^r = Q_{p,p}^r + Q_{от}^r.$$

Среднечасовой расход воды на собственные нужды Н-катионитных фильтров, $m^3/ч$, определяется из формулы

$$Q_{с.н.}^r = Q_{с.н.н}^r n_n^r a_n^r / 24.$$

Межрегенерационный период работы каждого Н-катионитного фильтра, ч,

$$T_r = 24 / n_n^r - t_{рег}^r,$$

где n_n^r — число регенераций каждого Н-катионитного фильтра в сутки; $t_{рег}^r$ — время регенерации Н-катионитного фильтра, ч.

Время регенерации Н-катионитного фильтра $t_{рег}^r$, ч, в связи с большими колебаниями, зависящими от ряда факторов, определяется в каждом случае расчетом из уравнения

$$t_{рег}^r = (t_b^r + t_{p,p}^r + t_{от}^r) / 60,$$

где t_b^r — время взрыхляющей промывки катионита, мин, определяется по табл. 1.8; $t_{p,p}^r$ — время пропуска регенерационного раствора через катионит, мин, зависит от концентрации регенерационного раствора и скорости его пропуска через катионит:

$$t_{p,p}^r = 60 Q_{p,p}^r / \omega_{p,p} f_n.$$

Так как $\omega_{p,p} \geq 10$ $m/ч$, то

$$t_{p,p}^r = 6 Q_{p,p}^r / f_n.$$

Время отмывки катионита от продуктов регенерации при скорости отмывки 10 $m/ч$. $t_{от}^r = 6 Q_{от}^r / f_n$.

Число одновременно регенерируемых фильтров $n_{o,p}$ определяется по формуле

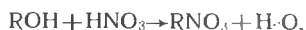
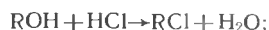
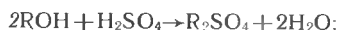
$$n_{o,p}^r = n_n^r a_n^r t_{рег}^r / 24.$$

1.5.5. Частичное химическое обессоливание воды ионитами

Полное химическое обессоливание воды ионитами на энергетических объектах применяют при общем солесодержании исходной воды до 1000 mg/l . Если не требуется одновременного удаления кремниевой кислоты, т. е. возможно частичное обессоливание, его применяют при более высоком общем солесодержании исходной воды — до 1500 — 2000 mg/l (см. рекомендации СНиП «Водоснабжение»).

Вода, подаваемая на ионитные фильтры, должна содержать взвешенных веществ не более 8 mg/l и иметь перманганатную окисляемость менее 7 mg/l O_2 . Если вода не отвечает этим требованиям, необходимо провести ее предварительную обработку, применив коагуляцию и осветление; при большой карбонатной жесткости целесообразно совместить коагуляцию с известкованием.

При химическом обессоливании воду освобождают как от катионов, так и от анионов. При пропуске воды вначале через Н-катионитные фильтры, содержащиеся в ней катионы обмениваются на ионы водорода. В анионитных фильтрах, отрегенированных щелочными реагентами, анионы кислот Н-катионированной воды задерживаются анионитом. Взаимодействие Н-катионированной воды с анионитом, если он отрегенирован раствором щелочи, обычно $NaOH$, можно представить в виде следующих реакций:



где R — твердая, нерастворимая часть анионита, являющаяся катионом.

Существенное отличие анионного обмена от катионного состоит в том, что реакции являются необратимыми, на что указывает одна стрелка (реакция идет слева направо), в то время как реакции при катионном обмене являются обратимыми (стрелки две, могут протекать в зависимости от условий в прямом или обратном направлении).

Необратимости реакций обмена анионов способствует взаимодействие переходящих в воду из анионита ионов OH^- с ионами H^+ , содержащимися в Н-катионированной воде, в результате чего образуются молекулы H_2O .

В зависимости от требований к величине солесодержания очищенной воды выбирается технологическая схема частичного обессоливания

Схема, представленная на рис. 1.7, а, пригодна для исходных поверхностных вод, когда

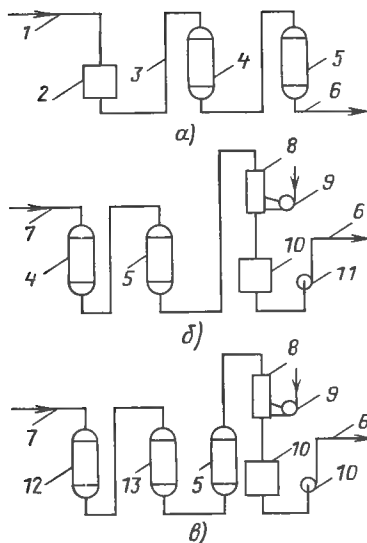


Рис. 1.7. Технологические схемы частичного химического обессоливания:

а — исходная поверхностная вода; б — исходная водопроводная или артезианская вода средней минерализации; в — то же высокой минерализации; 1 — вода из поверхностных источников водоснабжения; 2 — предочистка с известкованием; 3 — осветленная вода; 4 — Н-катионитный фильтр; 5 — анионитный фильтр; 6 — обессоленная вода; 7 — водопроводная вода; 8 — декарбонизатор; 9 — вентилятор к декарбонизатору; 10 — бак декарбонизованной воды; 11 — насос декарбонизованной воды; 12 — Н-катионитный фильтр первой ступени; 13 — Н-катионитный фильтр второй ступени

на предочистке коагуляция совмещается с известкованием. Н-катионитные фильтры, загруженные сульфоглем, работают до «проскока» жесткости; удельный расход кислоты на регенерацию принимается по рис. 1.6 в зависимости от состава исходной воды и требуемой глубины умягчения; рабочая обменная емкость сульфогля определяется из уравнения. Если требуется глубокое умягчение воды ($J_{\text{ж}} < 0,1$ мг-экв/л), после анионитного фильтра устанавливают буферный Na-катионитный фильтр.

Когда подаваемая на обессоливание вода отвечает требованиям по содержанию взвешенных веществ, цветности, окисляемости и не требует удаления натрия, осуществляется технологическая схема (рис. 1.7, б), расчетные данные принимаются, как и в предыдущем случае.

Состав частично обессоленной воды при работе Н-катионитных фильтров до «проскока» жесткости определяется ионами натрия,

концентрация которых равна их содержанию в исходной воде, и остаточными концентрациями анионов HCO_3^- , Cl^- и SO_4^{2-} . При концентрации сульфатов в частично обессоленной воде, равной нулю, остаточная концентрация хлоридов, мг-экв/л,

$$[\text{Cl}^-]_{\text{ост}} = [\text{Na}^+]_{\text{и.в.}} - \text{Щ}_{\text{ост.}}$$

$$\text{При } [\text{SO}_4^{2-}] > 0$$

$$[\text{SO}_4^{2-}]_{\text{ост}} = [\text{Na}^+]_{\text{и.в.}} - \text{Щ}_{\text{ост.}} - [\text{Cl}^-]_{\text{ост.}}$$

где $[\text{Na}^+]_{\text{и.в.}}$ — концентрация натрия в исходной воде, мг-экв/л; $\text{Щ}_{\text{ост.}}$ — щелочность обессоленной воды.

Для высокоминерализованной воды, отвечающей требованиям по содержанию взвешенных веществ, цветности и окисляемости, применима схема, приведенная на рис. 1.7, в, с двумя ступенями Н-катионитных фильтров; марки загружаемых в них катионитов выбираются по табл. 1.14.

Таблица 1.14. Рекомендуемые марки катионитов при ступенчатом Н-катионировании

Состав исходной воды, мг-экв/л	Рекомендуемый катионит	
	на I ступени	на II ступени
$[\text{Na}^+] \leq 1$; $\sum A_{\text{с.к.}} \leq 3$	Сульфоголь	Сульфоголь
$[\text{Na}^+] \leq 1$; $\sum A_{\text{с.к.}} = 3 \div 5$	»	КУ-2
$\sum A_{\text{с.к.}} \geq 5$	КУ-2	КУ-2

Примечание. $\sum A_{\text{с.к.}}$ — суммарная концентрация анионов сильных кислот (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-).

Наличие двух ступеней Н-катионирования позволяет сокращать расходы кислоты на регенерацию. Первую ступень, работающую до проскока жесткости, регенерируют с удельным расходом кислоты 70—75 г/г-экв. Вторую ступень, удаляющую ионы Na^+ (частично), отключают на регенерацию по заданной величине снижения кислотности фильтрата и проводят регенерацию с большим избытком кислоты.

Регенерационный раствор и отмывочные воды после второй ступени рекомендуется использовать при регенерации фильтров первой ступени, что позволяет сократить общий расход кислоты на 15—20 %. При анионировании для более полного использования обменной емкости анионита и сокращения расхода NaOH на его регенерацию рекомендуется работу анионитных фильтров организовать по скользящему графику (рис. 1.8), согласно которому каждый фильтр после регенерации работает в качестве II ступени анионирования,

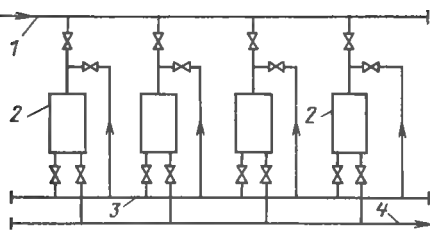


Рис. 1.8. Схема работы анионитных фильтров по скользящему графику при частичном обессоливании:

1 — кислая Н-катионированная вода; 2 — анионитные фильтры, загруженные слабоосновным анионом; 3 — линия анионированной воды после первой ступени анионирования; 4 — обессоленная вода после второй ступени анионитных фильтров

а фильтр I ступени работает до полного истощения, а затем отключается на регенерацию.

Число регенераций Н-катионитных фильтров, работающих с частичным удалением натрия, определяется из уравнения

$$n = 24Q_n (\Sigma R - Na_{ост}) / f_n H_{cl} a_n E_p^n,$$

где ΣR — сумма катионов, содержащихся в исходной воде, мг-экв/л; $Na_{ост}$ — остаточное содержание натрия в частично обессоленной воде, заданное требованиями потребителя, мг-экв/л; Q_n , f_n , H_{cl} , a — соответственно производительность, м³/ч, площадь фильтрования, м², высота слоя катионита, м, и число Н-катионитных фильтров (см. расчет Н-катионитных фильтров в схеме параллельного Н—Na-катионирования); E_p^n — рабочая обменная емкость катионита, г-экв/м³.

Рабочая обменная емкость катионита при Н-катионировании с частичным удалением натрия определяется по уравнению

$$E_p^n = \alpha_z E_{пол} - 0,5q\Sigma R,$$

где α_z — коэффициент эффективности регенерации; $E_{пол}$ — полная динамическая емкость поглощения катионита, принимается по паспортным данным завода, г-экв/м³; q — удельный расход отмывочной воды, м³/м³, принимается по табл. 1.12.

Расход 100 %-ной серной кислоты на регенерацию Н-катионитного фильтра определяется из уравнения

$$Q_K = q_K f_K H_{cl} E_p^n / 1000,$$

где q_K — удельный расход серной кислоты на регенерацию, г/г-экв, определяется по графику рис. 1.9 в зависимости от суммарного содержания анионов сильных кислот в исходной воде.

При использовании катионита КУ-2 (см. табл. 1.12) регенерация фильтра

производится нарастающей концентрацией регенерационного раствора, которая приведена ниже:

Концентрация H ₂ SO ₄ , %	1	3	6
Доля общего расхода H ₂ SO ₄	0,4	0,3	0,3

Количество воды, необходимое для приготовления растворов нарастающей концентрации. $Q_{н.к.}$, м³, определяется из уравнения

$$Q_{н.к.} = Q_K \cdot 100 / 1000 (0,4p_1 + 0,3p_3 + 0,3p_6),$$

где p_1 , p_3 , p_6 — соответственно плотности 1-, 3- и 6 %-ных растворов серной кислоты.

Во всех вариантах схем частичного обессоливания, приведенных на рис. 1.9, а — в, анионирование воды осуществляется в одну ступень. Схема частичного обессоливания предусматривает удаление только той части анионов сильных кислот, которая эквивалентна количеству удаляемых катионов Ca²⁺, Mg²⁺ и Na⁺ (бикарбонат-ион разрушается при Н-катионировании, и углекислота удаляется в декарбонизаторе или при предварительном известковании).

Расчет анионитных фильтров производится в соответствии с технологическими данными, приведенными в табл. 1.15.

Расчет анионитных фильтров начинают с предварительного подбора диаметра и количества фильтров по скорости фильтрования (используют конструкцию Н-катионитных фильтров с $H_{cl} = 1,5; 2; 2,5$ м):

$$\omega_n = Q_a / f_a;$$

$$\omega_{макс} = Q_a / f_a (a - 1),$$

где ω_n и $\omega_{макс}$ — скорости фильтрования

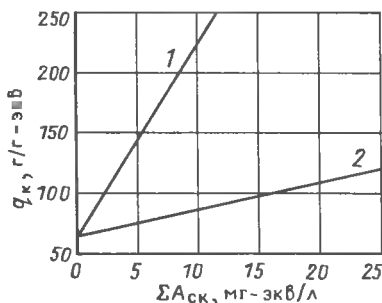


Рис. 1.9. Определение удельного расхода серной кислоты q_K на регенерацию Н-катионитных фильтров в зависимости от суммарного содержания анионов сильных кислот $\Sigma A_{с.к.} = (SO_4^{2-} + Cl^-)$: 1 — при прямой регенерации; 2 — при протиточной регенерации

Т а б л и ц а 1.15. Технологические данные для расчета анионитных фильтров

Показатель	Обычные фильтры I степени обессоливания
Скорость фильтрования, м/ч: допустимая (максимальная)	15 (30)
рекомендуемая с учетом полноты использования (нормальная)	До 20
минимальная	5
Количество фильтров: постоянно работающих	3
резервных	1
Взрыхление анионита: интенсивность, л/(с·м ²)	3
продолжительность, мин	30
Анионит марки АН-31: насыпная масса товарного продукта, т/м ³	0,72—0,75
то же в набухшем состоянии	0,31
крупность зерен анионита в набухшем состоянии, мм	0,4—2
расход анионита при эксплуатации, %:	
в первый год	10
в последующие годы	5
высота слоя анионита, м	По расчету
полная обменная емкость анионита, г-экв/м ³	800
Взрыхление анионита: интенсивность, л/(с·м ²)	3
продолжительность взрыхления, мин	30
Регенерация анионита: удельный расход NaOH, г/г-экв	60
концентрация раствора, %	4
скорость пропуска раствора, м/ч	4
количество регенерации каждого фильтра в сутки	1—2
Отмывка анионита: удельный расход воды, м ³ /м ³	10
скорость пропуска отмывочной воды, м/ч	10
Продолжительность регенерации, ч	По расчету

в анионитных фильтрах нормальная и максимальная, м/ч, принимаются по табл. 1.15; Q_a — производительность анионитных фильтров, м³/ч; f_a — площадь анионитного фильтра, м²; a — количество постоянно работающих фильтров, принимается по табл. 1.15; $a-1$ — количество фильтров при регенерации одного из них.

Число регенераций каждого фильтра

в сутки определяется из уравнения

$$n_a = 24Q_a (A_{c.k} - A_{c.k}^{ост}) / f_a a,$$

где $A_{c.k}$ — концентрация анионов сильных кислот в исходной воде, мг-экв/л; $A_{c.k}^{ост}$ — остаточное содержание анионов сильных кислот в частично обессоленной воде, заданное требованиями потребителя. Рабочая обменная емкость анионита, г-экв/м³, определяется из уравнения

$$E_p = \alpha_a^a E_a - 0,8qA_{c.k},$$

где α_a^a — коэффициент эффективности регенерации анионита, при удельном расходе NaOH 60 г/г-экв поглощаемых сульфатов и хлоридов можно принять $\alpha_a^a = 0,8 \div 0,9$; E_a — полная обменная емкость анионита, г-экв/м³ (см. табл. 1.20); 0,8 — доля использования обменной емкости анионита отмывочными водами; q — удельный расход воды на отмывку анионита, м³/м³, принимается по табл. 1.50.

Расход 100 %-ного NaOH на одну регенерацию анионитного фильтра Q_{NaOH} , кг,

$$Q_{NaOH} = q_{NaOH} f_a H_{cl}^a E_p^a / 1000,$$

где q_{NaOH} — удельный расход NaOH на регенерацию, г/г-экв (табл. 1.15).

Расход технического 42 %-ного едкого натра, м³, в сутки определяется так:

$$Q_{NaOH}^{сут} = 100Q_{NaOH} n^a a / 1000 \cdot 42p_{42},$$

где 42 — содержание NaOH в жидком техническом продукте, %; p_{42} — плотность технического используемого в энергетике 42 %-ного раствора едкого натра, т/м³.

Расход частично обессоленной воды на регенерацию анионитного фильтра складывается из:

1) расхода воды на взрыхление анионита, м³,

$$Q_{взр}^a = 60i_a^a f_a t_{взр}^a / 1000,$$

где i_a , $t_{взр}$ — соответственно интенсивность и продолжительность взрыхления анионита (табл. 1.15);

2) расхода воды на приготовление регенерационного раствора NaOH, м³,

$$Q_{p.p}^a = 100Q_{NaOH} / 1000bp_{p.p},$$

где b — концентрация регенерационного раствора, % (табл. 1.15); $p_{p.p}$ — плотность регенерационного раствора, т/м³;

3) расхода воды на отмывку анионита от продуктов регенерации, м³,

$$Q_{от}^a = q_{от}^a f_a H_{cl}^a,$$

где $q_{от}^a$ — удельный расход воды на отмывку анионита, м³/м³ (табл. 1.15).

Расход воды на одну регенерацию анио-

нитного фильтра с учетом использования отмывочных вод для взрыхления анионита

$$Q_{с.н}^a = Q_{р.р}^a + Q_{от}^a$$

Среднечасовой расход частично обессоленной воды на собственные нужды анионитных фильтров, м³/ч,

$$Q_{с.н}^a = Q_{с.н}^a n^a / 24.$$

Межрегенерационный период¹ каждого фильтра, ч, определяется из уравнения

$$T_a = 24 / n_a - t_{рег}^a,$$

где $t_{рег}^a$ — время регенерации анионитного фильтра, ч;

$$t_{рег}^a = (t_{взр}^a + t_{р.р}^a + t_{от}^a) / 60,$$

где $t_{взр}^a$ — время взрыхления анионита (табл. 1.15); $t_{р.р}^a$ — время пропуска регенерационного раствора через анионит, мин, определяется из уравнения

$$t_{р.р}^a = 60 Q_{р.р}^a / w_{р.р} f_a,$$

где $w_{р.р}$ — скорость пропуска регенерационного раствора, м/ч, принимается по табл. 1.15; $t_{от}^a$ — время отмывки анионита от продуктов регенерации, мин, определяется по формуле

$$t_{от}^a = 60 Q_{от}^a / w_{от}^a f_a,$$

где $w_{от}$ — скорость отмывки анионита (см. табл. 1.15).

Число одновременно регенерируемых анионитных фильтров

$$n_{о.р} = n^a t_{рег}^a / 24.$$

Расчетная скорость фильтрования для анионитного фильтра, м/ч, определяется из уравнения

$$w_{рас} = E_p^a H_{сл} / [T_a A_{с.к} + 0,3 E_p^a d^2 \times$$

$$\times (\ln A_{с.к} - \ln A_{с.к}^{осм})],$$

где d — средний диаметр зерен, мм.

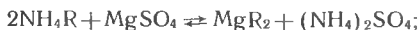
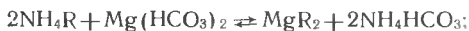
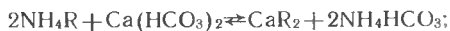
При $w_{рас} > w_n$ следует увеличить диаметр или число анионитных фильтров.

1.5.6. NH₄-катионирование

При NH₄-катионировании обрабатываемая вода фильтруется через слой катионита, отрегенированный солями аммония [NH₄Cl или (NH₄)₂SO₄]. Содержащийся в катионите ион аммония обменивается на катионы Ca²⁺,

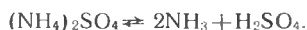
¹ На анионитных фильтрах продолжительность фильтроцикла при ручном управлении принимая равной 20–22 ч, на автоматизированных установках — 9–10 ч.

Mg²⁺, Na²⁺, присутствующие в природной воде, при этом протекают следующие реакции в направлении слева направо:



Как видно из реакций обмена, в фильтрате образуются соли аммония, соответствующие имеющимся в воде анионам. NH₄-катионированная вода умягчается, а щелочность ее имеет такую же величину, как и у исходной воды.

При нагревании воды в котле соли аммония разлагаются:



Образующиеся при разложении бикарбоната аммония аммиак и уголекислота уносятся паром, а в котловой воде должны оставаться соляная и серная кислоты. Во избежание коррозии под действием кислот применение NH₄-катионирования в энергетической практике всегда сочетается с Na-катионированием. В процессе Na-катионирования карбонатная жесткость превращается в бикарбонат натрия (см. п. 1.5.1), который в котле разлагается с образованием соды и едкого натра:



Уголекислота уносится паром, а Na₂CO₃ и NaOH нейтрализуют кислотность воды, появляющуюся при термическом разложении солей аммония. Чтобы предотвратить чрезмерное снижение щелочности котловой воды, сочетание NH₄-катионирования с Na-катионированием осуществляют с расчетом получить в умягченной воде концентрацию ионов HCO₃⁻ на 0,3–0,7 мг-экв/л больше концентрации ионов аммония.

Пар котлов, питающихся NH₄⁺ — Na⁺-катионированной водой, всегда содержит большое количество аммиака. Учитывая это обстоятельство, NH₄-катионирование воды не следует применять, когда в тепловой схеме котельной установки имеются аппараты (теплообменники и т. п.) и детали из латуни или медных сплавов или когда пар используется для систем горячего водоснабжения или открытых систем теплоснабжения. На всех предприятиях, где в паре не должен содержаться

аммиак, от метода NH_4 -катионирования воды приходится отказываться.

Комбинирование процессов NH_4 - и Na -катионирования возможно с применением схем параллельного или совместного NH_4 — Na -катионирования. Выбор схемы обуславливается качеством исходной воды.

Схема параллельного NH_4 — Na -катионирования применяется при

$$[\text{Na}] \% > 30 \div 35 \% \mathcal{J}_{\text{н.в.}};$$

$$40 \% > \alpha_{\text{NH}_4} > 90 \%,$$

где $[\text{Na}] \%$ — содержание натрия в исходной воде в процентах ее общей жесткости, определяется по формуле

$$[\text{Na}] \% = 100 [\text{Na}]_{\text{н.в.}} / \mathcal{J}_0,$$

где $[\text{Na}]_{\text{н.в.}}$, $\mathcal{J}_0$ — соответственно содержание натрия и общая жесткость исходной воды, мг-экв/л; α_{NH_4} — степень обмена катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} на ион аммония, % (в схемах совместного NH_4 — Na -катионирования) или доля воды, поступающей на NH_4 -катионитные фильтры, % (в схемах параллельного NH_4 — Na -катионирования), определяется из уравнения

$$\alpha_{\text{NH}_4} = (\mathcal{J}_k - \mathcal{J}_{\text{ост}}) \cdot 100 / (\mathcal{J}_k + [\text{Cl}] + [\text{SO}_4]),$$

где $\mathcal{J}_k$ — карбонатная жесткость исходной воды, мг-экв/л; $\mathcal{J}_{\text{ост}}$ — условная «остаточная» щелочность умягченной воды после совместного NH_4 — Na -катионирования или после смешения потоков NH_4 — Na -катионированных вод, мг-экв/л; условная потому, что она соответствует только содержанию NaHCO_3 в умягченной воде.

Если в исходной воде практически нет натрия, уравнение примет вид

$$\alpha_{\text{NH}_4} = (\mathcal{J}_k - \mathcal{J}_{\text{ост}}) \cdot 100 / \mathcal{J}_{\text{н.в.}}$$

Степень обмена жесткости на натрий (при совместном NH_4 — Na -катионировании) или доля воды, поступающей на Na -катионитные фильтры в схеме параллельного NH_4 — Na -катионирования, α_{Na} , %, определяются из уравнения

$$\alpha_{\text{Na}} = 100 - \alpha_{\text{NH}_4}.$$

При расчете катионитных фильтров в схемах параллельного или совместного NH_4 — Na -катионирования следует пользоваться из табл. 1.8 и 1.9 следующими расчетными данными: высота слоя и крупность зерен катионита, скорость фильтрования, потери напора на фильтрах, интенсивность и продолжительность взрыхляющей промывки.

Регенерация NH_4 -катионитных фильтров

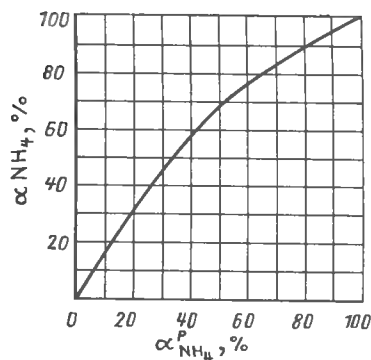


Рис. 1.10. Определение $\alpha_{\text{NH}_4}^P$ [относительной концентрации $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в регенерационном растворе] в зависимости от α_{NH_4} (степени обмена на NH_4)

производится раствором сульфата или хлорида аммония. Применение сульфата аммония (используется сорт для сельского хозяйства) обходится дешевле, но при его использовании есть опасность загнивания катионита (выпадения CaSO_4 на зернах катионита). Для регенерации готовят 2—3 %-ный раствор сульфата аммония и пропускают его, а также отмывочную воду со скоростью не менее 10 м/ч.

Удельный расход сульфата аммония принимается равным 200 г/г-экв удаляемой жесткости, при повторном использовании раствора (при двухступенчатой схеме) — 140 г/г-экв.

Рабочую обменную емкость NH_4 -катионита принимают на 10—15 % больше, чем Na -катионита. Удельный расход воды на отмывку от продуктов регенерации — 5 м³ на 1 м³ катионита.

Выбор диаметра, количества и остальные расчеты NH_4 -катионитных фильтров ведутся аналогично расчету Na -катионитных фильтров (см. п. 1.5.1).

При проведении процесса совместного NH_4 — Na -катионирования фильтр регенерируется смешанным раствором сульфата аммония и хлористого натрия. Концентрация сульфата аммония не должна превышать 2—3 %, поваренную соль растворяют в этом же объеме.

Состав регенерационного раствора определяется в зависимости от величины α_{NH_4} , которая определяется по рис. 1.10.

Относительная концентрация NaCl , в % суммы расхода реагентов $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NaCl}]$, определяется из уравнения

$$\alpha_{\text{Na}}^P = 100 - \alpha_{\text{NH}_4}^P.$$

Расход реагентов на одну регенерацию при совместном NH_4 —Na-катионировании определяется из уравнений:

расход сульфата аммония $Q_{\text{NH}_4}^{\text{P}}$, кг,

$$Q_{\text{NH}_4}^{\text{P}} = VE_{\text{p}} q_{\text{p}} \alpha_{\text{NH}_4} / (1000 \cdot 100);$$

расход поваренной соли Q_{Na}^{R} , кг,

$$Q_{\text{Na}}^{\text{R}} = VE_{\text{p}} q_{\text{p}} \alpha_{\text{Na}} / (1000 \cdot 100).$$

где V — объем катионита в фильтре, м^3 ; E_{p} — рабочая обменная емкость катионита (при совместном NH_4 —Na-катионировании принимается как при Na-катионировании), г-экв/ м^3 ; q_{p} — удельный расход реагентов, г/г-экв.

Расход воды на регенерацию NH_4 -катионитного фильтра и NH_4 —Na-катионитного фильтра рассчитывается так же, как и для Na-катионитного фильтра, однако с учетом того, что регенерационный раствор сульфата аммония должен иметь концентрацию не более 2—3 % и расход воды на отмывку составляет 5 м^3 на 1 м^3 катионита.

1.5.7. Na—Cl-ионирование

Как показывает название этого метода обработки воды, он основывается на применении катионита в Na-форме и анионита в Cl-форме; регенерация обоих ионитов проводится раствором поваренной соли.

Cl-ионирование осуществляется после предварительного Na-катионирования. На Na-катионитных фильтрах протекают реакции, рассмотренные в п. 1.5.1, и обрабатываемая вода умягчается, в ней остаются только соли натрия: NaHCO_3 , NaCl , Na_2SO_4 , NaNO_3 . При пропуске Na-катионированной воды через сильноосновной анионит в Cl-форме протекают реакции обмена анионов, содержащихся в Na-катионированной воде, на ионы хлора, находящиеся в анионите, а именно:



В результате сорбции иона HCO_3^- снижается щелочность обрабатываемой воды, она минимальна в начале рабочего цикла, а затем постепенно повышается. Конец рабочего цикла Cl-анионитного фильтра устанавливают по возрастанию щелочности фильтрата до заданной величины.

Практика показала, что применение слабоосновных анионитов в описанной технологии Na—Cl-ионирования оказалось невозможным, так как после двух-трех регенераций поваренной солью аниониты этого типа не

восстанавливают своей обменной емкости. Претворение в жизнь этой технологии встретило и ряд других трудностей. Для продления срока службы сильноосновного анионита, например АВ-17-8, необходимо, чтобы в схемах NaCl-ионирования обрабатываемая вода не содержала железа и органических веществ. В подземных водах очень часто содержится двухвалентное железо, и тогда требуется исходную воду предварительно обезжелезивать. Поверхностные воды, для которых обязательна коагуляция в целях удаления органических веществ, обычно при необходимости снижают щелочность обрабатываются на предочистке известью, после чего они не нуждаются в NaCl-ионировании.

Для регенерации анионита требуется поваренная соль высокого качества с минимальным содержанием посторонних примесей; для собственных нужд анионитных фильтров должна применяться умягченная вода.

Метод Na—Cl-ионирования следует применять в исключительных случаях при соотношении анионов в исходной воде

$$\text{HCO}_3^- / (\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-) \geq 1$$

и суммарной концентрации сульфатов и нитратов не более 3 мг-экв/л.

В котельных установках обычно требуется глубокое умягчение воды, для чего применяют две ступени Na-катионирования воды. В случае Na—Cl-ионирования после Na-катионитных фильтров первой ступени ставятся фильтры второй ступени, где Na-катионирование совмещается с Cl-ионированием, при этом в низ фильтра загружается катионит, а сверху помещается анионит типа АВ-17. В процессе регенерации фильтра второй ступени раствором поваренной соли (NaCl) ионы Na^+ — регенерируют катионит, а ионы Cl^- — анионит.

Расход соли принимается равным 100—120 кг/ м^3 анионита. Регенерационный раствор готовится обязательно на умягченной воде. Расход воды на отмывку 3—4 $\text{м}^3/\text{м}^3$. Скорость фильтрования принимается 15—20 м/ч, количество фильтров — 2—3. При отключении Cl-анионитного фильтра при щелочности 1,0—1,5 мг-экв/л средняя щелочность за рабочий цикл получается значительно ниже. Na—Cl-ионитный фильтр рассчитывается как Na-катионитный первой ступени, а необходимый объем анионита определяется при рабочей обменной емкости анионита по иону HCO_3^- 280—300 г-экв/ м^3 . Слой анионита в фильтре принимается минимально необходимым, число регенераций — не более 2 раз в сутки каждого фильтра. Слой катионита — как разность общей высоты слоя загрузки $H_{\text{св}}$ стандартного фильтра минус слой анионита, но не менее 500 мм.

Декарбонизацией называют процесс удаления из воды свободной углекислоты¹. Много CO_2 образуется в схемах с Н-катионированием или при подкислении воды. Аппараты, в которых снижение концентрации CO_2 в воде достигается продувкой воды воздухом в результате распределения CO_2 между жидкой (вода) и газообразной (воздух) фазами, называются декарбонизаторами. Наибольшее распространение получили аппараты башенного типа с насадкой, орошаемой сверху обрабатываемой водой и продуваемой снизу воздухом.

В настоящее время в качестве насадки используются керамические кольца Рашига (табл. 1.16).

Таблица 1.16. Характеристика колец Рашига

Размеры колец, мм	Количество колец в 1 м ³ насадки при беспорядочной загрузке	Поверхность насадки, м ² /м ³	Масса колец, кг/м ³
25×25×3	53 200	204	532
35×35×4	20 200	140	505
50×50×5	6000	87,5	530

В дальнейшем все расчеты ведутся на кольца Рашига размером 25×25×3. Методика расчета декарбонизаторов дана по [11].

Исходными данными для расчета декарбонизаторов являются производительность установки, температура обрабатываемой воды, содержание свободной углекислоты в воде до и после декарбонизатора.

Содержание свободной углекислоты в исходной воде определяется по номограмме, приведенной на рис. 1.11.

Номограмма составлена для воды с сухим остатком 200 мг/л при температуре 10 и 20 °С.

При других значениях сухого остатка вводится поправочный коэффициент:

Сухой остаток, мг/л	100	200	300
Поправочный коэффициент α	1,05	1,0	0,96

Продолжение

Сухой остаток, мг/л	400	500	750	1000
Поправочный коэффициент α	0,94	0,92	0,87	0,83

¹ Декарбонизация исходной воды путем известкования описана в п. 1.4.2.

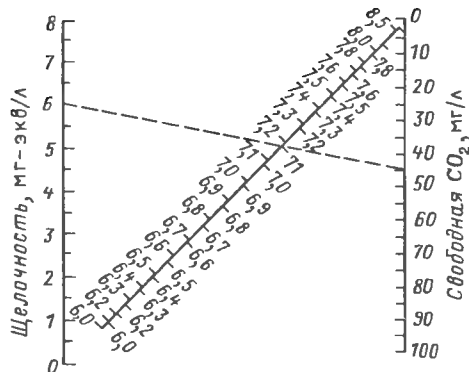


Рис. 1.11. Номограмма для определения содержания в воде свободной углекислоты в зависимости от значения pH и щелочности воды

Содержание свободной углекислоты в исходной воде $(\text{CO}_2)_{\text{и.в}}$ определяется из уравнения

$$(\text{CO}_2)_{\text{и.в}} = (\text{CO}_2)_{\text{н.в}},$$

где $(\text{CO}_2)_{\text{н}}$ — содержание свободной углекислоты, определенной по номограмме (рис. 1.15), мг/л; α — поправочный коэффициент, соответствующий сухому остатку исходной воды.

Количество свободной углекислоты, поступающей на декарбонизатор после Н-катионирования (или подкисления) воды, определяется из уравнения

$$c_{\text{вх}} = [44J_{\text{ж}} + (\text{CO}_2)_{\text{и.в}}]/1000,$$

где $(\text{CO}_2)_{\text{и.в}}$, $c_{\text{вх}}$ — концентрация углекислоты соответственно в исходной воде и в воде, поступающей на декарбонизатор, кг/м³; $J_{\text{ж}}$ — карбонатная жесткость, разрушаемая при Н-катионировании, мг-экв/л.

Необходимая поверхность насадки F (поверхность десорбции), м², обеспечивающая удаление свободной углекислоты, определяется из уравнения

$$F = G/K_{\text{ж}}\Delta c_{\text{ср}},$$

где G — количество углекислоты, удаляемое на декарбонизаторе, кг/ч, находится из уравнения

$$G = Q(c_{\text{вх}} - c_{\text{вых}}),$$

где Q — производительность декарбонизатора с учетом собственных нужд последующих стадий обработки воды, м³/ч; $c_{\text{вых}}$ — концентрация углекислоты в декарбонизированной воде, принимается равной 0,005 кг/м³ (5 мг/л); $K_{\text{ж}}$ — коэффициент десорбции углекислоты, м/ч, для декарбонизаторов с кольцами Раши-

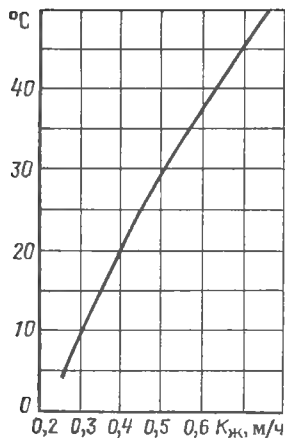


Рис. 1.12. Зависимость $K_{ж}$ от температуры, для декарбонизаторов, загруженных кольцами Рашига размером $25 \times 25 \times 3$, при плотности орошения $60 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$

га $25 \times 25 \times 3$ и плотностью орошения $60 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, определяют в зависимости от температуры декарбонизованной воды по графику на рис. 1.12; $\Delta c_{ср}$ — средняя движущая сила десорбции, $\text{кг}/\text{м}^3$, определяемая по рис. 1.13 в зависимости от содержания свободной углекислоты до и после декарбонизатора.

Площадь поперечного сечения декарбонизатора f , м^2 , определяется из уравнения

$$f = Q/60,$$

где 60 — оптимальная плотность орошения

насадки, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, на единицу площади поперечного сечения декарбонизатора.

При снижении плотности орошения насадки с 60 до $40 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ возникает необходимость увеличения площади декарбонизатора на 50 %, объема насадки на 58 % и высоты насадки на 5 %.

Диаметр декарбонизатора определяется из уравнения

$$D = \sqrt{4f/3,14},$$

высота насадки в декарбонизаторе $h = V_{к.р}/f$. Здесь $V_{к.р}$ — объем, занимаемый кольцами Рашига $25 \times 25 \times 3$ мм при беспорядочной загрузке, определяется из уравнения

$$V_{к.р} = F/204,$$

где F — поверхность десорбции, м^2 ; 204 — поверхность 1 м^3 насадки при беспорядочной загрузке, $\text{м}^2/\text{м}^3$.

Расход воздуха, подаваемого в декарбонизатор, $\text{м}^3/\text{ч}$, определяется так:

$$Q_{воз} = bQ,$$

где b — удельный расход воздуха, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

Суммарное сопротивление проходу воздуха через декарбонизатор, мм вод. ст., определяется из уравнения

$$\Sigma \zeta = 40 + 25h,$$

где 25 мм вод. ст. — сопротивление высоты слоя в 1 м насадки из колец Рашига $25 \times 25 \times 3$

1.7. Обработка воды методами осаждения

Реагентные методы обработки воды на ВПУ основаны на реакциях, в результате которых образуются труднорастворимые соединения CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$, удаляемые из воды в виде осадков. К таким методам относятся известкование, содоизвесткование и обработка едким натром.

Известкование используется для декарбонизации, снижения щелочности воды, частичного умягчения (удаляется карбонатная жесткость) и снижения соледержания.

Известково-содовая обработка осуществляется в целях удаления солей не только карбонатной, но и некарбонатной жесткости, при этом протекают реакции

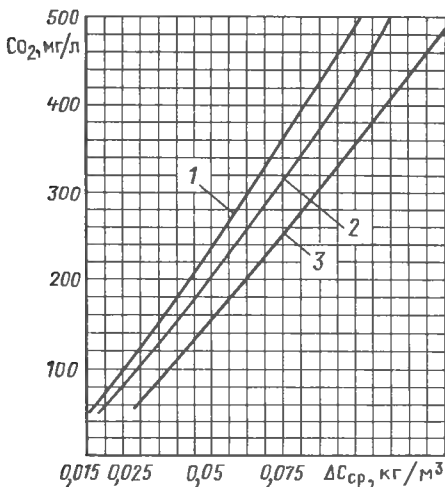
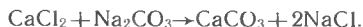
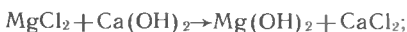
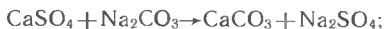
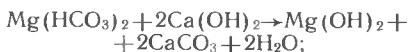
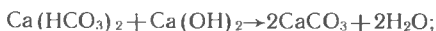


Рис. 1.13. Зависимость $\Delta c_{ср}$ от $C_{вых}$ при различных значениях $C_{вых}$ (мг/л): 1—3; 2—5; 3—10

В соответствии с приведенными реакциями дозы извести и соды при содоизвестковании воды могут определяться по формулам

$$D_{\text{и}} = 28 (\text{CO}_2/22 + \text{HCO}_3^- + \text{Mg}^{2+} + D_{\text{к}}/e + + 0,5) \cdot 100/C_{\text{и}};$$

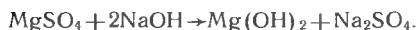
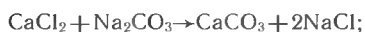
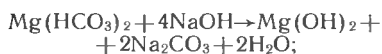
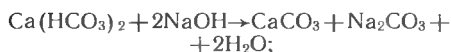
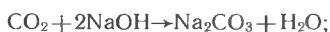
$$D_{\text{с}} = 53 (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} - \text{HCO}_3^- + D_{\text{к}}/e + + 1) \cdot 100/C_{\text{с}},$$

где $D_{\text{и}}$ — доза технической извести, мг/л; CO_2 — содержание свободной углекислоты, мг/л; HCO_3^- и Mg^{2+} — соответственно концентрация бикарбонатов и магния в исходной воде, мг-экв/л; $D_{\text{к}}$ — доза коагулянта, мг/л, в пересчете на безводное вещество; e — эквивалентный вес активного вещества (для FeCl_3 — 54 мг/мг-экв; для FeSO_4 — 76 мг/мг-экв); 0,5 — избыток извести, мг-экв/л; $C_{\text{и}}$ — содержание CaO в технической извести, %; $D_{\text{с}}$ — доза технической соды, мг/л; Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- — концентрация соответственно кальция, магния и бикарбонат-иона в исходной воде, мг-экв/л; 1 мг-экв/л — избыток соды; $C_{\text{с}}$ — содержание Na_2CO_3 в технической соде, %.

Содоизвестковый метод, широко применявшийся на ВПУ до начала 30-х годов, в настоящее время вытеснен схемами коагуляции и известкования в осветлителях с последующим Na -катионированием. Однако в отдельных случаях при использовании высокоминерализованных вод с большой некарбонатной жесткостью обработку ведут известью и содой. Процесс проводят в осветлителях. Для получения более низкой щелочности соду дозируют без избытка, при этом остаточная жесткость обработанной воды (при $t = 40^\circ\text{C}$) достигает 1—3 мг-экв/л. Глубокое умягчение воды производится на Na -катионитных фильтрах. Учитывая, что содержащиеся в воде органические примеси затрудняют процесс кристаллизации CaCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$, необходимо, как и при известковании, применять коагуляцию солями железа; вопрос о необходимости дозировки флокулянта решается при наладке.

Правильность дозирования щелочных реагентов контролируется по стабильности воды.

При едконатровой обработке воды протекают следующие реакции:



Умягчение одним едким натром возможно, если качество исходной воды отвечает условию

$$[\text{Ca}]_{\text{и.в}} = [\text{CO}_2]_{\text{и.в}} + 2[\text{HCO}_3^-]_{\text{и.в}} - I_{\text{Na}_2\text{CO}_3},$$

где $[\text{Ca}]_{\text{и.в}}$ и $[\text{HCO}_3^-]_{\text{и.в}}$ — соответственно концентрация кальция и бикарбонат-иона в исходной воде, мг-экв/л; $[\text{CO}_2]_{\text{и.в}}$ — концентрация углекислоты в исходной воде, мг-экв/л; $I_{\text{Na}_2\text{CO}_3}$ — избыток образующейся Na_2CO_3 .

Доза едкого натра при этом, мг-экв/л, будет

$$D_{\text{NaOH}} = [\text{CO}_2]_{\text{и.в}} + [\text{HCO}_3^-]_{\text{и.в}} + [\text{Mg}^{2+}]_{\text{и.в}} + + D_{\text{к}} + I_{\text{NaOH}}.$$

где I_{NaOH} — избыток едкого натра, мг-экв/л.

Если исходная вода отвечает условию

$$[\text{Ca}]_{\text{и.в}} > [\text{CO}_2]_{\text{и.в}} + 2[\text{HCO}_3^-]_{\text{и.в}} - I_{\text{Na}_2\text{CO}_3},$$

в обрабатываемую воду необходимо добавлять соду, так как образующейся из NaOH Na_2CO_3 недостаточно для осаждения кальция.

Доза соды определяется из уравнения

$$D_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = [\text{Ca}]_{\text{и.в}} + I_{\text{Na}_2\text{CO}_3} - - [\text{CO}_2]_{\text{и.в}} - 2[\text{HCO}_3^-]_{\text{и.в}}.$$

Едконатровое умягчение применяется редко из-за значительно более высокой стоимости едкого натра в сравнении с содой и известью; оно может оказаться целесообразным в отдельных случаях, когда невозможно разместить громоздкую аппаратуру для гашения извести и подготовки ее дозирования.

1.8. Обезжелезивание артезианских вод

В подземных водах из артезианских скважин железо обычно содержится в виде бикарбоната закисного железа $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$.

Если используется подрусловая вода или вода из водоносных горизонтов, подпитываемых болотной водой, железо может содержаться в виде комплексных органических соединений; в этом случае обезжелезивание ведется в зависимости от качества исходной воды и требований, изложенных в п. 1.4.1 и 1.4.2.

При поступлении артезианской воды, содержащей $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, на Na -катионитные фильтры ионы Fe^{2+} будут обмениваться на натрий и концентрация железа в воде уменьшится. Однако этот процесс невозможно использовать практически для обезжелезивания воды, так как при регенерации и остановах фильтра в него поступает кислород воздуха, происходит окисление Fe^{2+} в Fe^{3+} с образованием труднорастворимого гидроксида $\text{Fe}(\text{OH})_3$, который обволакивает зерна катионита и лишь частично удаляется при регенера-

ции, что ведет к снижению обменной емкости катионита.

При содержании в исходной воде железа более 0,3 мг/л производят обезжелезивание воды до поступления ее на Na-катионитные фильтры; в случае H^+ -катионирования можно допустить несколько большее содержание железа в исходной воде.

Процесс окисления кислородом воздуха двухвалентного железа в трехвалентное и гидролиз $Fe(HCO_3)_2$ могут быть выражены следующим уравнением:



При содержании железа до 10 мг/л и величине рН воды более 6,8 для обезжелезивания можно применять упрощенную схему аэрации, вводя сжатый воздух в трубопровод исходной воды и отфильтровывая частицы $Fe(OH)_3$ в напорных фильтрах. Обычно используются корпуса ионитных фильтров второй ступени, в которые загружается сульфоголь (зерна диаметром 1,8—2 мм, высота слоя 1,3 м). Ввод сжатого воздуха производится из расчета на 1 г Fe^{2+} 2 л воздуха. На линии сжатого воздуха устанавливается игольчатый вентиль для регулирования его подачи. Так как большие расходы воздуха ухудшают работу фильтра, не следует иметь избыток растворенного кислорода свыше 0,6 мг O_2 на 1 мг Fe^{2+} .

Для автоматического отвода скапливающегося в фильтре воздуха в высшей его точке устанавливается вантуз. Перед первоначальным пуском фильтра производится его зарядка путем пропуска аэрированной воды в течение 170—180 ч. За это время зерна сульфогля покрываются пленкой из гидроокиси железа $Fe(OH)_3$, которая при последующем пропуске воды улучшает результат обезжелезивания.

Скорость фильтрования обрабатываемой воды принимается равной 5—15 м/ч. Фильтр отключают на промывку при потере напора на фильтре 98 кПа (10 м вод. ст.). Промывка фильтра осуществляется из бака обезжелезенной водой с интенсивностью 4 л/(с·м²) в течение 20—25 мин. На окисление 1 мг Fe^{2+} в Fe^{3+} расходуется 0,143 мг кислорода. В результате гидролиза $Fe(HCO_3)_2$ содержание свободной уголекислоты увеличивается на 1,6 мг, а щелочность обрабатываемой воды уменьшается на 0,036 мг-экв/л.

Когда концентрация железа в обезжелезиваемой воде превышает 10 мг/л, аэрацию производят в специальных устройствах, аналогичных описанным в § 1.6, а затем фильтруют воду на осветлительных фильтрах, выбираемых в соответствии с табл. 1.3. Расчет осветлительных фильтров приведен в п. 1.4.3.

Вместо кислорода воздуха для окисления Fe^{2+} в Fe^{3+} можно использовать другие окислители, например хлор и перманганат калия, при этом доза хлора (мг/л) будет: $D_{Cl_2} = 0,7(Fe^{2+})$, где Fe^{2+} — содержание закисного железа в исходной воде, мг/л.

Требования к качеству подпиточной воды для различных схем теплоснабжения следующие.

Исходная вода, используемая для подпитки теплосетей с открытым водоразбором и для горячего водоснабжения, должна отвечать санитарным требованиям согласно ГОСТ 2874—82 «Вода питьевая»:

Сухой остаток, мг/л	1000
Хлориды (Cl^-), мг/л	350
Сульфаты (SO_4^{2-}), мг/л	500
Железо (Fe^{2+} и Fe^{3+}), мг/л	0,3
Остаточный алюминий (Al^{3+}), мг/л	0,5
Гексаметафосфат (в пересчете на PO_4), мг/л	3,5
Триполифосфат (в пересчете на PO_4), мг/л	3,5
Общая жесткость, мг-экв/л	Менее 7
рН	6,5—9

По согласованию с Госсанинспекцией повышение сухого остатка допускается до 1500 мг/л; общая жесткость не должна превышать 10 мг-экв/л. При использовании подземных вод по согласованию с Госсанинспекцией (без установок по обезжелезиванию) в водопроводной воде допускается содержание железа до 1 мг/л.

Качество воды, используемой для подпитки тепловых сетей, должно отвечать требованиям СНиП II-Г.10-73 (II-36-73), изданного в 1985 г. (с изменениями) «Тепловые сети. Нормы проектирования» (табл. 1.17).

Для характеристики коррозионных и накипеобразующих свойств воды используется индекс стабильности или насыщения воды карбонатом кальция (индекс Ланжелье). Он рассчитывается для данной температуры воды по формуле

$$J = pH - pH_s,$$

где рН — измеренное значение с поправкой на температуру нагрева воды, т. е. $pH = pH_{изм} + d$ (d принимается по табл. 1.18); pH_s — водородный показатель, соответствующий равновесному насыщению воды карбонатом кальция, определенный по номограмме, приведенной на рис. 1.14.

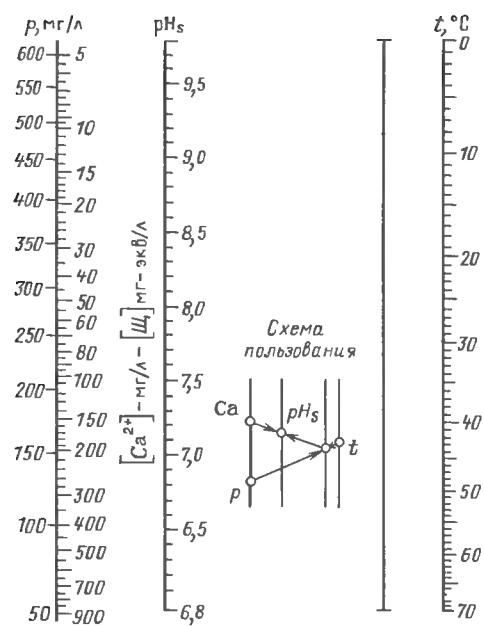


Рис. 1.14. Номограмма для определения pH_s , соответствующего равновесному насыщению воды карбонатом кальция

Таблица 1.17. Требования СНиП, предъявляемые к подпиточной воде тепловых сетей

Показатель	Температура подогрева воды, °C	
	70—100	101—200
Растворенный кислород, мг/л	0,1	0,05
Взвешенные вещества, мг/л	5	5
Карбонатная жесткость, мг-экв/л	0,7	0,7
Остаточная общая жесткость при использовании воды от продувки котлов (допускается в закрытых системах теплоснабжения), мг-экв/л	0,1	0,05
Свободная углекислота	Отсутствует	
pH	6,5—9	
Условная сульфатно-кальциевая жесткость	В пределах, исключающих выпадение из раствора $CaSO_4$	

Примечание. $pH > 9$ для закрытых систем теплоснабжения

Таблица 1.18. Температурные поправки d для определения pH воды после ее подогрева

$pH_{изм}$ при 18—20 °C	Температура нагретой воды, °C	Щелочность воды, мг-экв/л				
		0,5	1	2	4	8
8,0	50	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
8,2	50	0,2	0,15	0,15	0,15	0,1
8,4	50	0,3	0,2	0,2	0,15	0,15
7,6	60	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
7,8	60	0,15	0,15	0,1	0,1	0,1
8,0	60	0,3	0,2	0,15	0,15	0,1
8,2	60	0,4	0,3	0,2	0,2	0,15
8,4	60	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2

1.9.1. Закрытая система теплоснабжения

При закрытой системе теплоснабжения сетевая вода не имеет непосредственного контакта с людьми, и поэтому к ней не предъявляются санитарные требования. К подпиточной воде предъявляются требования, приведенные в табл. 1.22. Когда источником водоснабжения является поверхностная вода, водоподготовительные установки для теплосети и для паровых котлов используют одни и те же, применяя на предочистке известкование с коагуляцией в осветлителях и осветление на механических фильтрах. Ограничиться известкованием исходной воды возможно для вод с общей жесткостью, равной карбонатной или превышающей ее не более чем на 3 мг-экв/л. Когда некарбонатная жесткость больше этого значения, требуется проводить доумягчение известкованной воды путем Na-катионирования. Допуская при известковании повышение pH подпиточной воды, следует одновременно снижать общую жесткость для предупреждения выпадения карбоната кальция. Кроме того, практика подпитки теплосети только известкованной водой осложняется отсутствием гарантии ее стабильности при подогреве в водогрейных котлах до 150—200 °C, что в свою очередь требует частичного доумягчения известкованной воды.

В случае использования для подпитки теплосети с закрытой системой теплоснабжения продувочной воды паровых котлов, содержащей гидраты и фосфаты, вся подпиточная вода должна быть глубокоумягченной. Надо иметь в виду, что при использовании Na-катионированной воды требуется особенно тщательно проводить противокоррозионные мероприятия, например кроме деаэрации осуществлять силикатную обработку подпиточной

воды. Если состав исходной осветленной воды позволяет использовать схему Н-катионирования с «голодной» регенерацией фильтров, то ее применяют, дополняя декарбонизацией. Карбонатная жесткость при этом будет снижаться до нормируемой величины ($<0,7$ мг-экв/л).

Помимо умягчения подпиточная вода должна освобождаться от коррозионно-активных газов — кислорода и углекислоты — путем термической деаэрации. Содержание кислорода в зависимости от температуры подогрева сетевой воды должно снижаться до $0,1 - 0,05$ мг/л.

При плохо налаженной деаэрации, особенно в пусковой период, и возможных подсосах воздуха на некоторых участках (верхние точки местных систем) в сети следует обеспечивать постоянное избыточное давление. Целесообразно дозировать ингибиторы коррозии в подпиточную воду (особенно при низких pH обработанной воды). При силикатной обработке следует поддерживать концентрацию силиката натрия в подпиточной воде в пересчете на SiO_3^{2-} не более 40 мг/л, $\text{pH} = 8,4 \div 8,5$; произведения кальцевой жесткости на щелочность (мг-экв²/л²) должны составлять: при $101 - 150^\circ\text{C}$ $J_{\text{Ca}} \cdot \text{Щ}_0 = 1,5$, при $151 - 200^\circ\text{C}$ $J_{\text{Ca}} \cdot \text{Щ}_0 = 1,2$.

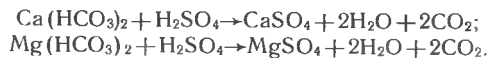
Запрещается использовать в тепловых сетях гидразин в связи с его высокой токсичностью.

1.9.2. Открытая система теплоснабжения

В тепловых сетях с открытой системой теплоснабжения (двухтрубная система) горячее водоснабжение осуществляется непосредственно из тепловой сети. Количество подпиточной воды складывается из потерь в сети и расхода воды на горячее водоснабжение. Нагрев воды в открытой системе теплоснабжения обычно составляет $130 - 150^\circ\text{C}$. Воду на подпитку открытой системы теплоснабжения используют только из водопровода, ее качество должно отвечать требованиям ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая». Схемы обработки воды должны выбираться в соответствии с «Руководством по проектированию тепловых пунктов» (см. разд. 5 «Водоподготовка»), выпущенным Стройиздатом в 1983 г.

Закон об охране окружающей среды требует при выборе схем обработки воды предусматривать защиту водоемов от загрязнения стоками водоподготовки. Практически не имеет сбросных вод схема подкисления воды с последующей декарбонизацией и деаэрацией. Сущность метода подкисления

заключается в разрушении серной кислотой карбонатной жесткости до значения $<0,7$ мг-экв/л с переводом ее в некарбонатную жесткость:



Из разрушенной карбонатной жесткости образуется свободная углекислота, которая удаляется в декарбонизаторе до остаточной концентрации $3 - 5$ мг/л и полностью в деаэраторах с барботажом. При подкислении серной кислотой увеличивается содержание сульфат-иона в обрабатываемой воде и может возникнуть опасность выпадения гипса CaSO_4 . Чтобы оценить возможность применения подкисления, следует воспользоваться номограммой, приведенной на рис. 1.15.

С помощью номограммы рис. 1.15 определяется допустимое содержание сульфат-иона по содержанию кальция в обрабатываемой воде (мг-экв/л), солесодержанию и максимальной температуре подогрева сетевой воды от 90 до 200°C . Определение ведется в следующем порядке: солесодержание берется по одной из совмещенных шкал; *I* — шкала соответствует солесодержанию, в котором (по массе) одновалентных ионов 50% , *II* — шкала соответствует солесодержанию, в котором масса одновалентных ионов составляет 10% общего солесодержания. Зная температуру подогрева воды (принимают с запасом $5 - 10^\circ\text{C}$), соединяют прямой найденные точки *S* и *t*. Точку, соответствующую содержанию Ca^{2+} в обрабатываемой воде, соединяют с точкой пересечения первой прямой со средней вспомогательной осью и продолжают до пересечения со шкалой SO_4^{2-} . Найденная точка на шкале SO_4^{2-} и будет допустимым содержанием сульфатов в подпиточной воде (SO_4^{2-})_{доп}. Фактическая концентрация иона SO_4^{2-} в подпиточной воде определится из уравнения

$$(\text{SO}_4^{2-})_{\text{о.в}} = (\text{SO}_4^{2-})_{\text{и.в}} + (\text{HCO}_3^-)_{\text{и.в}} - (\text{HCO}_3^-)_{\text{ост}},$$

где индекс «о.в» означает обработанную воду, «и.в» — исходную воду, «ост» — остаточную щелочность, принимается согласно норм — $0,7$ мг-экв/л.

Если $(\text{SO}_4^{2-})_{\text{доп}} > (\text{SO}_4)_{\text{о.в}}$, схема подкисления серной кислотой возможна (в расчете надо принимать максимальные концентрации в исходной воде). Если $(\text{SO}_4^{2-})_{\text{доп}} < (\text{SO}_4^{2-})_{\text{о.в}}$, схема подкисления серной кислотой недопустима: можно для подкисления применить соляную кислоту или использовать другую схему обработки воды. Возможно применение умягчения части подкисленной воды на Na-катио-

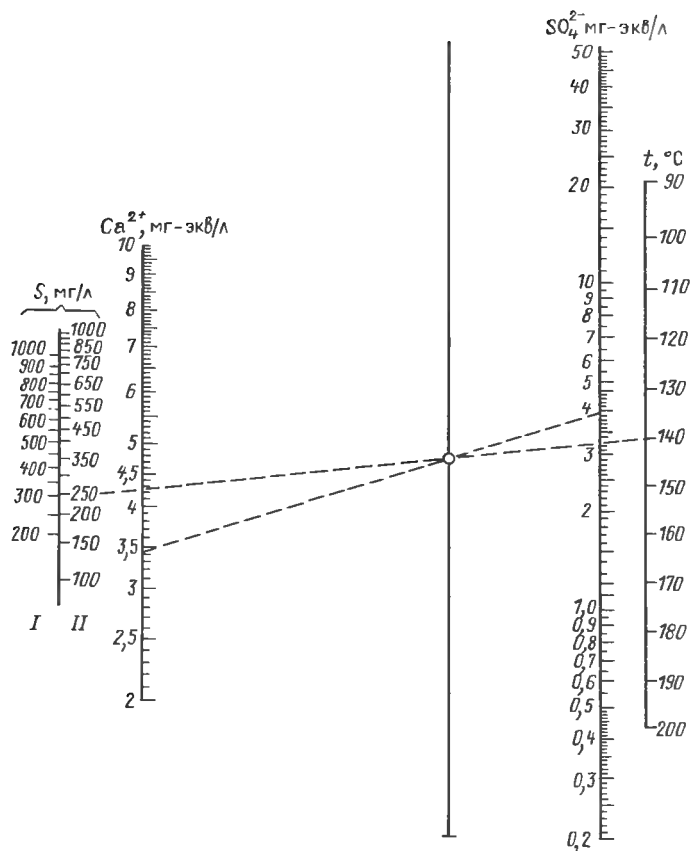


Рис. 1.15. Номограмма для определения стабильности воды по CaSO_4

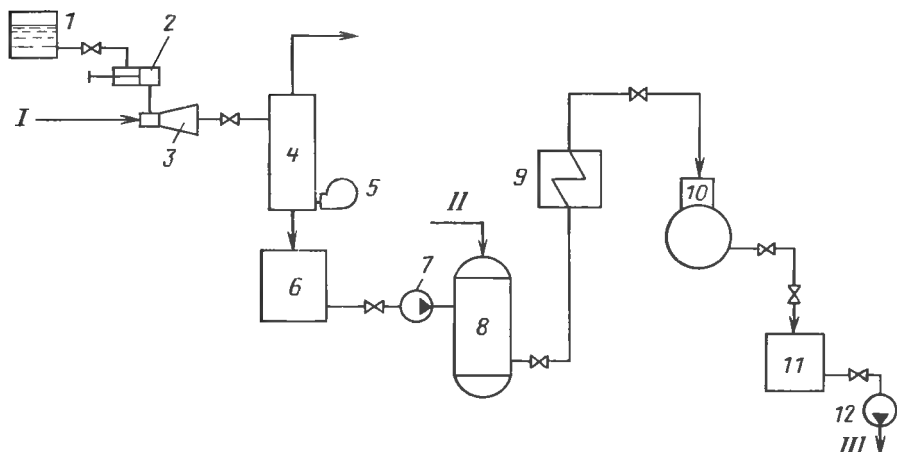


Рис. 1.16. Принципиальная схема подкисления обрабатываемой воды:

1 — бак концентрированной кислоты; 2 — дозатор; 3 — эжектор; 4 — декарбонизатор; 5 — вентилятор; 6 — бак декарбонизованной воды; 7 — насос декарбонизованной воды; 8 — буферный фильтр; 9 — подогреватель; 10 — деаэрактор; 11 — аккумуляторный бак; 12 — подпиточный насос, I — исходная вода на очистку; II — исходная вода на «регенерацию» фильтра; III — подпиточная вода

нитных фильтрах.

Доза кислоты при подкислении определяется из уравнения

$$D_{H_2SO_4} = 49 [(\text{HCO}_3^-)_{\text{исх}} - (\text{HCO}_3^-)_{\text{ост}}] / 10\rho c,$$

где $D_{H_2SO_4}$ — доза серной кислоты, л/м³; 49 — эквивалентная масса серной кислоты; ρ — плотность кислоты, кг/л; c — концентрация H₂SO₄, %.

Принципиальная схема подкисления обрабатываемой воды для подпитки теплосети дана на рис. 1.16.

Для устранения попадания кислой воды в сеть в схеме имеется буферный фильтр (скорость фильтрования до 50 м/ч), который периодически (периоды устанавливаются при наладке) «регенерируют» пропуском исходной воды до получения одинаковой жесткости на входе и выходе из фильтра. Подкисление ведут серной кислотой, соответствующей ГОСТ 2184—77. Подачу кислоты регулируют автоматически пропорционально расходу обрабатываемой воды, желательно с корректировкой по рН подкисленной воды.

Для подготовки подпиточной воды открытых систем теплоснабжения можно использо-

вать следующую схему: Н-катионирование с «голодной» регенерацией фильтров, декарбонизация, деаэрация.

Схему Na-катионирования в чистом виде применять избегают по причинам, изложенным выше; кроме того, при больших расходах воды, имеющих место в открытых системах теплоснабжения, получаются большие объемы стоков с высоким солесодержанием.

В настоящее время Na-катионирование применяют после снижения щелочности (до 0,7 мг-экв/л) для доумягчения части обрабатываемой воды, чтобы исключить выпадение CaSO₄ при подогреве сетевой воды до 150—200 °С.

1.9.3. Горячее водоснабжение

При закрытой системе теплоснабжения для горячего водоснабжения (в котельной или на тепловом пункте) должна предусматриваться обработка исходной водопроводной воды.

Выбор метода антикоррозионной и противонакипной защиты для систем горячего водоснабжения определен действующими нормами (табл. 1.19).

Таблица 1.19. Выбор способа обработки подпиточной воды для централизо

Показатели качества исходной водопроводной воды (средние за год)				Способ проти обработки
Индекс насыщения при 60 °С	Cl ⁻ + SO ₄ ²⁻ , мг/л	Свободная CO ₂ , мг/л	Окисляемость, мг/л O ₂	Стальные без покрытия
< -1,5	≤ 50	≤ 20	Любая	ВД
-1,5 ÷ -1	≤ 50	≤ 20	»	С
< -1	≤ 50	≤ 20	»	ВД + П
-1 ÷ 0	≤ 50	≤ 20	»	С
-1 ÷ 0	≤ 50	> 20	»	ВД + П
≤ 0	> 50	≤ 20	»	ВД
≤ 0	> 50	> 20	»	ВД + П
0—0,5	51—200	Любая	> 3	С
0—0,5	> 200*	≤ 20	> 3	ВД
0—0,5	> 200*	> 20	> 3	ВД + П
0—0,1	≤ 50	Любая	0—6	—
0,1—0,5	≤ 50	Любая	> 3	—
0,1—0,5	≤ 50	»	≤ 3	М
> 0,5	≤ 50	»	0—6	М
0,1—0,5	51—200	»	≤ 3	С + М
0,1—0,5	> 200*	≤ 20	≤ 3	ВД + М
0,1—0,5	> 200*	> 20	≤ 3	ВД + П + М
> 0,5	51—200	Любая	0—6	С + М
> 0,5	> 200*	≤ 20	0—6	ВД + М
> 0,5	> 200*	> 20	0—6	ВД + П + М

* В пределах ГОСТ 2874—82 «Вода питьевая» содержание Cl⁻ + SO₄²⁻ не меняется.

Примечание. ВД — вакуумная деаэрация; П — подщелачивание; С — силикатная обработка;

Известно, что органические вещества оказывают тормозящее действие на выпадение CaCO_3 , но так как не установлено прямой зависимости индекса стабильности от окисляемости воды, последний показатель вводится в дополнение к нему.

Магнитная обработка воды применяется при общей жесткости воды не более 10 мг-экв/л и карбонатной жесткости (щелочности) воды выше 4, но не более 7 мг-экв/л.

При наличии на тепловом пункте пара вместо вакуумной деаэрации следует применять деаэрацию при атмосферном давлении.

Индекс насыщения определяется в соответствии с главой СНиП по проектированию наружных сетей и сооружений водоснабжения.

Использование для горячего водоснабжения исходной воды с окисляемостью более 6 мг/л O_2 , определенной методом окисления органических веществ перманганатом калия в кислой среде, как правило, не допускается. При допущении органами Минздрава СССР цветности исходной воды до 35 °С окисляемость может быть допущена и более 6 мг/л O_2 .

При содержании железа более 0,3 мг/л (в пересчете на Fe^{2+}) должно предусматри-

ваться обезжелезивание воды независимо от наличия других способов ее обработки.

Силикатную обработку воды и подщелачивание следует осуществлять путем добавления в исходную воду раствора силиката натрия.

Напряженность магнитного поля в рабочем зазоре магнитного аппарата не должна превышать $159 \cdot 10^3$ А/м (2000 Э). При применении электромагнитных аппаратов необходимо предусматривать контроль напряженности магнитного поля.

Магнитная обработка является наиболее простым способом ограничения накипеобразования, обеспечивающим удовлетворительное состояние поверхностей нагрева при горячем водоснабжении.

Принцип метода заключается в том, что под действием магнитного поля ферромагнитные примеси воды укрупняются и адсорбируют на своей поверхности кристаллизующийся накипеобразователь, в результате чего при температуре до 70 °С образование твердой фазы CaCO_3 происходит в толще воды, а не на поверхности нагрева.

Образующийся шлам является мелкодис-

ванных систем горячего водоснабжения при закрытых системах теплоснабжения

вокоррозионной и противонакипной в зависимости от вида труб			Показатели качества воды после обработки		
Оцинкованные	С внутренним неметаллическим покрытием или из термостойкой пластмассы	рН	Концентрация, мг/л, не более		
			растворенного кислорода	свободной углекислоты	
ВД	—	8,3—8,5	0,1	0	
С	—	≥7	Исходная	Уменьшается	
ВД+П	—	8,3—8,5	0,1	0	
—	—	≥7	Исходная	Уменьшается	
—	—	8,3—8,5	0,1	0	
ВД	—	8,3—8,5	0,1	0	
ВД+П	—	8,3—8,5	0,1	0	
С	—	≥7	Исходная	Уменьшается	
ВД	—	8,3—8,5	0,1	0	
ВД+П	—	8,3—8,5	0,1	0	
—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	
М	М	Исходная	Исходная	Исходная	
М	М	»	»	»	
С+М	М	7	»	Уменьшается	
ВД+М	М	8,3—8,5	0,1	0	
ВД+П+М	М	8,3—8,5	0,1	0	
С+М	М	7	Исходная	Исходная	
ВД+М	М	8,3—8,5	0,1	0	
ВД+П+М	М	8,3—8,5	0,1	0	

М — магнитная обработка.

Способ обработки воды выбирается при любом содержании кислорода в исходной воде

перным (основная масса частиц имеет диаметр менее 0,5 мкм) и быстро не укрупняется.

Принципиальная схема магнитной обработки воды с последующей деаэрацией в деаэраторе атмосферного типа с барботажем пара дана на рис. 1.17.

Если используется артезианская вода с содержанием $\text{Fe}^{2+} > 0,3$ мг/л, перед магнитными аппаратами должно осуществляться ее обезжелезивание.

Для противонакипной магнитной обработки воды используются электромагнитные аппараты (ЭМА), разработанные СКБ ВТИ (рис. 1.18) и изготавливаемые чебоксарским заводом «Энергозапчасть», производительностью 15, 25 и 50 т/ч.

В системах горячего водоснабжения силикатная обработка применяется как самостоятельный метод для снижения кислородной и уголекислотной коррозии.

Преимущество силикатной обработки заключается в простоте обслуживания и малых габаритах установки.

Рекомендуется применять силикатную обработку для следующего состава вод:

Индекс насыщения I при 60 °С	1,5 ÷ —0,1	0,1—0,6
Щелочность, мг-экв/л	0,5—2	2—4
Жесткость, мг-экв/л	0,7—3	3—5
Солесодержание, мг/л	100—200	200—600
pH	6,3—7,1	7,2—7,7
Содержание $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$, мг/л	0—50	50—200
Кремнесодержание в пересчете на SiO_2 , мг/л	15	15

Наилучший эффект силикатная обработка дает при использовании мягких вод с $I \leq$

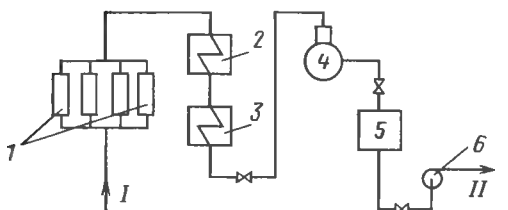


Рис. 1.17. Схема магнитной обработки воды без предварительной очистки:
1 — электромагнитный аппарат (ЭМА) СКБ ВТИ; 2 и 3 — подогреватели I и II ступеней; 4 — деаэратор; 5 — аккумуляторный бак; 6 — подпиточный насос; I — исходная вода; II — подпиточная вода

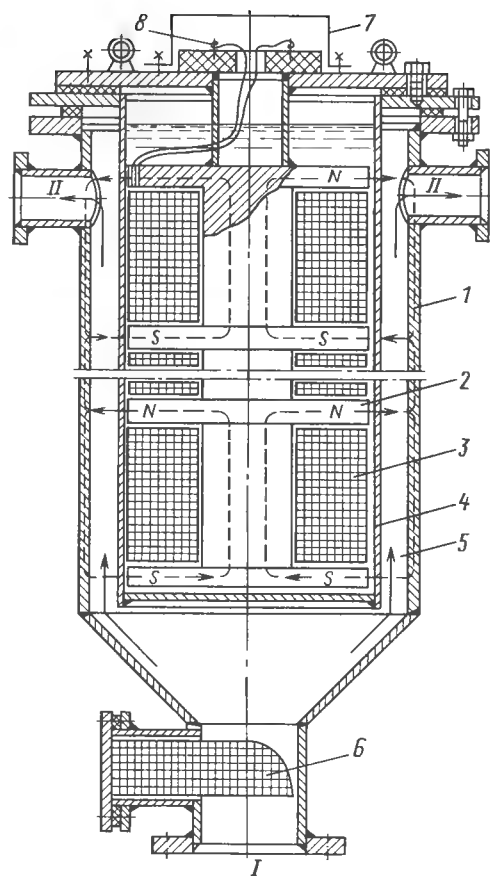


Рис. 1.18. Электромагнитный аппарат (ЭМА) СКБ ВТИ для противонакипной обработки воды:

- 1 — корпус; 2 — сердечник (внутренний магнитопровод); 3 — намагничивающая катушка; 4 — кожух; 5 — рабочий зазор для прохода намагничиваемой воды; 6 — сетка; 7 — крышка; 8 — зажимы;
- I — вода; II — намагниченная вода

≤ 0 и $\sum \text{Cl}^-$ и $\text{SO}_4^{2-} \leq 50$ мг/л.

Рекомендуемые дозы силиката натрия в зависимости от качества исходной воды при любой концентрации кислорода приведены в табл. 1.20.

Для силикатной обработки используется жидкое натриевое стекло, отвечающее ГОСТ 13078—67.

В открытых системах теплоснабжения получила распространение подача силиката натрия насосами-дозаторами завода «Ри́г-химмаш» или шайбовыми дозаторами-вытеснителями.

Т а б л и ц а 1.20. Рекомендуемые дозы
силиката натрия

Показатели качества исходной водопроводной воды (средние за год)	Концентрация, мг/л		Доза вводимого жидкого силиката натрия в пересчете на SiO_3^{2-} , мг/л
	Соединения кремния SiO_3^{2-}	Хлориды и сульфаты ($\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$)	
Индекс насыщения I при $t = 60^\circ\text{C}$			
$-0,5 < I \leq 0$	До 35	50	15
$-1,5 \leq I \leq -0,5$	До 15	50	35
$I > 0$	До 25	51—100	25
$I > 0$	До 15	101—200	35*

* При концентрации кремния в исходной воде менее 15 мг/л (в пересчете на SiO_3^{2-}) доза вводимого силиката натрия должна быть увеличена до предельно допустимой концентрации (ПДК).

1.10. Обработка конденсатов

Питание паровых котлов осуществляется в основном конденсатом пара, потери которого восполняются химически обработанной водой. В котельных стремятся получить возможно больший возврат конденсата, так как это не только уменьшает производительность, но и упрощает водоподготовительную установку, не говоря уже об улучшении условий работы парового котла.

Пар, вырабатываемый в котельных, используется технологическими потребителями предприятий, для которых сооружаются котельные, для нагревания воды в различных подогревателях (сетевых, горячего водоснабжения, исходной и химически обработанной воды и т. п.), а также для технологических целей и подогрева мазута.

Возвращаемый конденсат от технологических потребителей может быть загрязнен различными веществами в зависимости от характера производства, например маслами от поршневых двигателей, молотов, насосов, прессов и т. п. Конденсат греющего пара подогревателей воды обычно содержит соли кальция, натрия, магния, мазут, а также нагреваемые технологические среды. Наряду с названными примесями возвращаемые конденсаты обычно содержат продукты коррозии пароконденсатного тракта.

Сбор конденсата от потребителей должен проводиться с учетом типичных загрязнений для удобства его очистки: так, замасленный конденсат не следует смешивать (до его очистки) с конденсатом сетевых подогревателей и т. п.

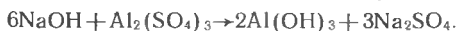
Обезмасливание конденсата осуществляется при загрязнении конденсата мазутом, сма-

зочными маслами и другими нефтепродуктами.

Опытом установлено, что при содержании масел в конденсате более 10 мг/л образуется неустойчивая эмульсия, которую можно разделить путем отстаивания. Для отстаивания замасленного конденсата используют специальные баки-отстойники, рассчитанные на отстой конденсата в течение 2 ч. При наличии трех баков один из них заполняется конденсатом, во втором конденсат отстаивается в течение 2 ч, из третьего конденсат насосом подается на дальнейшую обработку. Необходимость переключения баков, громоздкость установки трех баков могут быть решающими в выборе метода отстаивания.

На рис. 1.19 дана принципиальная схема очистки замасленного конденсата, апробированная многолетней эксплуатацией на нефтеперерабатывающих заводах. Загрязненный конденсат по трубопроводу 14 поступает в первый отсек бака-отстойника 1; капли масла укрупняются и как более легкие всплывают, а конденсат из нижних слоев постепенно перетекает во второй отсек. Невысокая перегородка задерживает на дне первого отсека грубодисперсные примеси, вносимые конденсатом. Воронки 10 служат для отбора проб с целью определить уровень масла, отделившегося в первом отсеке (масло периодически удаляют). Из второго отсека отстоявшийся конденсат насосом 2 подается на механический (осветлительный) фильтр 3, загрязненный нефтяным или каменноугольным коксом, дробленным антрацитом или термоантрацитом (допускается использование отработанного активированного угля) с размером зерен 1—3 мм при высоте слоя 1—1,2 м. Фильтруют конденсат со скоростью 5—7 м/ч. Отключение фильтра на взрыхляющую промывку производится при достижении перепада давлений на фильтре около 10 м вод. ст. Остаточное содержание масла после механических фильтров составляет 4—6 мг/л.

Для более полного удаления масла (до остаточной концентрации 1—2 мг/л) на механическом фильтре на поверхности фильтрующего слоя создают пленку из хлопьев гидроксида алюминия — $\text{Al}(\text{OH})_3$, хорошо адсорбирующую масло. Суспензию гидроксида алюминия готовят в баке 10, смешивая 5—7 %-ные растворы NaOH и $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, хранящиеся в мерниках 7 и 8; протекает реакция



Чтобы не увеличивать соледержание конденсата, образующийся сульфат натрия отмывают от хлопьев путем декантации.

Реагенты подают из расчета $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 20—25 г/м³, NaOH 15—18 г/м³, приготавливая суспензию гидроксида алюминия примерно 1 раз в сутки. Взрыхление фильтра произво-

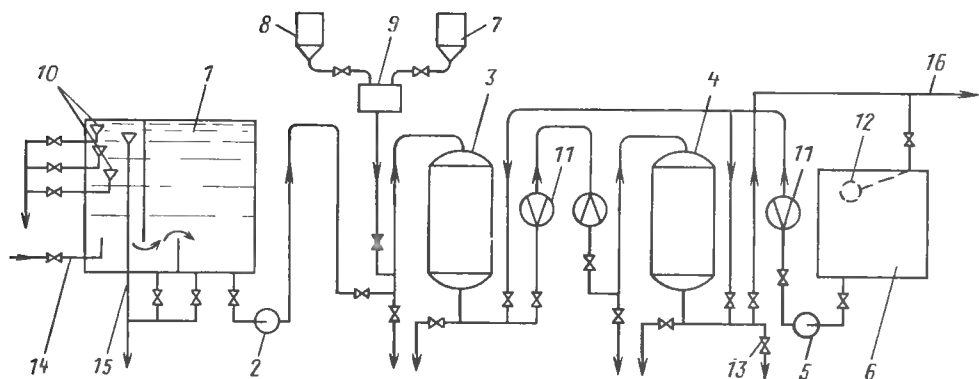


Рис. 1.19. Принципиальная схема очистки конденсата от масла и нефтепродуктов:

1 — бак-отстойник конденсата; 2 — насос отстаивающегося конденсата; 3 — механический фильтр; 4 — сорбционный фильтр с активированным углем; 5 — насос для промывки фильтров; 6 — бак для промывки фильтров; 7 — мерник раствора коагулянта; 8 — мерник раствора щелочи; 9 — бак

для получения хлопьев гидрооксида алюминия; 10 — пробоотборное устройство; 11 — расходомер показывающий; 12 — автоматический запорный клапан; 13 — отбор проб очищенного конденсата; 14 — подвод загрязненного конденсата на очистку; 15 — сброс в дренаж; 16 — очищенный конденсат в деаэратор

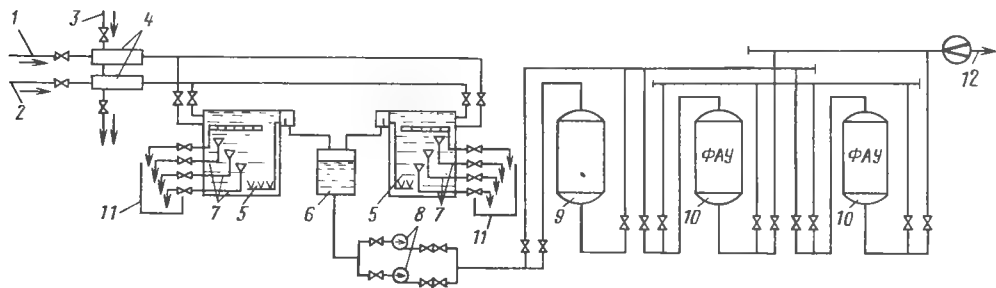


Рис. 1.20. Принципиальная схема очистки конденсата, возвращаемого от мазутного хозяйства котельной

1 — конденсат от подогревателей мазута ($p=1$ МПа); 2 — конденсат от лотков, нулевых емкостей, резервуаров хранения мазута ($p=0,6$ МПа); 3 — исходная охлаждающая вода; 4 — охладитель конденсата; 5 — приемный бак-отстойник конденсата; 6 — расходный бак очищенного конденсата; 7 — пробоотборное устройство; 8 — насос обработанного конденсата; 9 — механический фильтр; 10 — сорбционный фильтр с активированным углем (ФАУ); 11 — сосуд для удаления отстаивающегося мазута; 12 — очищенный конденсат в деаэратор или на умягчение

дится обезмасленным конденсатом с интенсивностью $10-12$ л/(с·м²) в течение 5—6 мин.

Для более полного удаления масла и гидроксида алюминия периодически фильтр промывают горячим раствором щелочи. После механического фильтра 3 конденсат поступает в сорбционный фильтр 4, загруженный активированным углем (марок БАУ, КАД и др.) с размером зерен 1—3,5 мм, насыпным весом $200-250$ кг/м³ и высотой фильтрующего слоя 2,5 м.

Сорбционная емкость активированного угля по «маслам» составляет 25 % его сухой массы (при слое в 1,5 м). Свежий активированный уголь удаляет масло до следов, в сред-

нем в фильтрате содержание масла не превышает 0,5 мг/л. Взрыхление ФСУ производится 1 раз в 10—15 сут из бака 6 (рис. 1.19) насосом в течение 5—10 мин. Интенсивность взрыхления 3—4 л/(с·м²).

Очистка конденсата от мазута. Многие отопительные и производственные котельные используют в качестве топлива мазут, на разогрев которого расходуется пар.

Из-за неплотностей в аппаратуре в конденсатопроводы попадает мазут.

Схема очистки конденсата, возвращаемого от мазутного хозяйства без сброса стоков, разработанная Сантехпроектом для котельных, дана на рис. 1.20.

Конденсат от мазутного хозяйства (разных давлений) охлаждается в теплообменниках до 95 °С и поступает в баки-отстойники (устройство бака-отстойника дано на рис. 1.21). После отстоя конденсат с содержанием мазута около 10 мг/л перфорированным коллектором из нижней части бака-отстойника отводится в расходный бак, откуда насосами подается на дальнейшую обработку, которая осуществляется на трех фильтрах (без резерва), работающих последовательно без сброса стоков. Отработанные материалы выгружаются вручную и сжигаются. Первый механический фильтр загружают более дешевым фильтрующим материалом. Он принимает основную массу мазута и отключается при достижении максимально допустимого перепада давления на фильтре (10 м вод. ст.). Верхний слой (или весь фильтрующий материал) вручную выгружают и сжигают. В период выгрузки и загрузки свежего материала работают только фильтры активированного угля (ФАУ)¹ и ведется более тщательный контроль, обеспечивающий необходимое качество обрабатываемого конденсата. Фильтры ФАУ работают по скользящему графику: фильтр, загруженный свежим активированным углем, работает как фильтр второй ступени, а когда качество выдаваемого им конденсата приближается к допускаемой для котлов норме, его переключают на работу в качестве первой ступени, для второй ступени включают свежезагруженный фильтр; такая схема обеспечивает требуемое качество конденсата и экономит дорогостоящий активированный уголь.

Бак-отстойник (рис. 1.21) работает с постоянным уровнем. Замазученный конденсат подводится через верхний перфорированный коллектор, отстоявшийся конденсат отводится через такой же, но утопленный коллектор, а отстоявшийся мазут — через коллектор, расположенный в средней части бака. Воронки служат для отбора проб, контролирующих уровень мазута в баке.

Все расчетные показатели установки для очистки конденсата от мазута принимают такими же, как и при очистке от масел и других менее вязких нефтепродуктов, температура конденсата около 95 °С сохраняется за счет соответствующей изоляции оборудования и трубопроводов.

Очистка конденсата от продуктов коррозии необходима для пре-

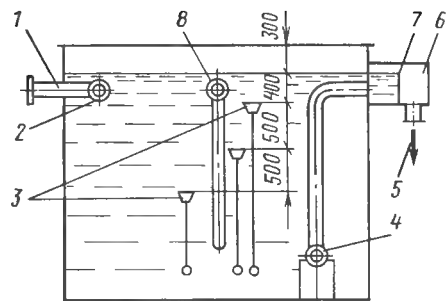


Рис. 1.21. Бак-отстойник конденсата:

1 — подвод загрязненного конденсата; 2 — перфорированный коллектор загрязненного конденсата (с отверстиями, направленными вниз), 3 — пробочное устройство; 4 — перфорированный коллектор для отвода отстоявшегося конденсата (отверстия сбоку коллектора); 5 — отвод отстоявшегося конденсата; 6 — карман для отвода конденсата; 7 — перегородка для поддержания постоянного уровня; 8 — коллектор для отвода отстоявшегося мазута

дотвращения образования железоокисных накипей в котле. Соединения железа в возвращаемых конденсатах представлены частицами различной степени дисперсности (взвешенные, коллоидные и истинно растворенные вещества).

В связи с многообразием форм и состояний присутствующего в конденсате железа очистка его предусматривается путем последовательного фильтрования через различные сорбенты.

Оптимальной схемой очистки конденсата от продуктов коррозии в котельных считается в настоящее время следующая: фильтрование через механические фильтры, загруженные коксом (устанавливаются при необходимости), фильтрование через катионитные фильтры, загруженные сульфоглем (при температуре конденсата менее 60 °С) или катионитом КУ-2 (при температуре до 100 °С). Используется конструкция Н-катионитного фильтра второй ступени.

Высота фильтрующего слоя при обезжелезивании принимается равной 0,8 м. Периодически предусматривается регенерация катионита серной кислотой. Ее периодичность устанавливается при эксплуатации в зависимости от содержания железа в обрабатываемом конденсате. Технологические и расчетные данные для катионитного фильтра, работающего в схеме обезжелезивания конденсата, приведены в табл. 1.21.

¹ Здесь фильтры, названные ФАУ (фильтры активированного угля), те же, что и фильтры ФСУ (фильтры сорбционные угольные), изготавливаемые ТКЗ

Таблица 1.21. Технологические данные для расчета катионитных фильтров обезжелезивания конденсата

Показатель	Нормативные данные
Диаметр фильтра, мм	По расчету
Площадь фильтра, м ²	По расчету
Высота слоя катионита, м	0,8
Количество фильтров (резервно не ставят), шт.	Не менее 3
Катионит (сульфоуголь или КУ-2):	
крупность зерен, мм	0,5—1,1
насыпная масса воздушно-сухого катионита, т/м ³	0,7*; 0,8*
та же набухшего катионита, т/м ³	0,55*; 0,34**
срок службы, лет	1
Скорость фильтрования, м/ч	25—30
Сопротивление фильтра при скорости фильтрования 25—30 м/ч, м вод. ст.	12—13
Взрыхление катионита:	
интенсивность, л/(с·м ²)	4
продолжительность, мин	30
напор, м вод. ст.	10
Продувка сжатым воздухом перед взрыхлением:	
интенсивность, л/(с·м ²)	12
продолжительность, мин	3
напор воздуха у фильтра, МПа	0,1
расход воздуха, л/1 г Fe ²⁺	2
Регенерация катионита:	
удельный расход 100%-ной серной кислоты, кг/м ³	90
концентрация раствора, %	3—4
скорость пропуска раствора, м/ч	6—8
Отмычка катионита:	
удельный расход отмывочной воды, м ³ /м ³	8*; 10**
скорость пропуска отмывочной воды, м/ч	10
Общая продолжительность регенерации катионита, ч	По расчету

* Для сульфоугля.

** Для катионита КУ-2.

1.11. Термический метод обессоливания

В котельных среднего давления при использовании высокоминерализованной исходной воды (солеосодержание более 800 мг/л) применяют термический метод обессоливания и получение дистиллята на испарительных установках.

Для питания испарителей необходима умягченная деаэрированная вода со следую-

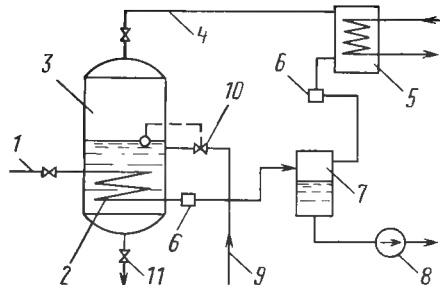


Рис. 1.22. Схема одноступенчатой испарительной установки:

1 — подвод первичного пара; 2 — греющая секция испарителя; 3 — корпус испарителя; 4 — отвод вторичного пара; 5 — конденсатор; 6 — конденсатоотводчик; 7 — сборник дистиллята; 8 — насос; 9 — питательная линия; 10 — регулятор уровня; 11 — линия продувки

щими показателями: жесткость не выше 30 мкг-экв/л (при умягчении воды с солеосодержанием выше 2000 мг/л допускается жесткость 75 мкг-экв/л); содержание кислорода не более 30 мкг/л; свободная углекислота должна отсутствовать.

Схема простейшей испарительной установки дана на рис. 1.22.

В испаритель непрерывно подается химически обработанная питательная вода. Чтобы поддерживать в испарителе солеосодержание концентрата в определенных пределах, часть его непрерывно отводится с продувкой. Пар, подаваемый в испаритель, называется первичным паром, а образовавшийся в испарителе — вторичным. Вторичный пар конденсируется (охлаждающая среда определяется тепловой схемой котельной) и поступает в питательную воду котлов, либо при осуществлении двухступенчатой или многоступенчатой испарительной установки вторичный пар первой и затем второй ступеней является первичным (греющим) паром соответственно каждой последующей ступени.

В производственных котельных с большим возвратом конденсата от потребителей вторичный пар испарителей используется для целей теплоснабжения, это позволяет сохранить конденсат для паровых котлов.

Испаритель, вторичный пар которого (иногда после перегревателя) направляется потребителям тепловой энергии, называют паропреобразователем (рис. 1.23). Качество дистиллята испарителей не должно быть хуже, чем у конденсата, возвращаемого в котлы. Солеосодержание дистиллята зависит от степени упаривания концентрата; при достижении

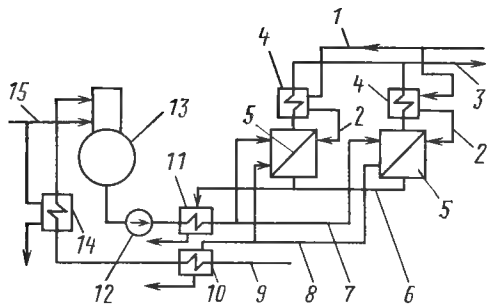


Рис. 1.23. Схема паропреобразовательной установки:

1 — паропровод первичного пара; 2 — линия от пароперегревателя; 3 — паропровод вторичного пара (к потребителю); 4 — пароперегреватель; 5 — паропреобразователь; 6 — отвод конденсата; 7 — подвод питательной воды; 8 — продувка; 9 — линия химически обработанной воды; 10 — охладитель продувки; 11 — охладитель конденсата; 12 — питательный насос; 13 — деаэрактор; 14 — подогреватель; 15 — подвод греющего пара

его критического значения начинается вспенивание и унос капель жидкости с паром, при этом увеличивается влажность пара и солесодержание дистиллята значительно возрастает. В зависимости от солевого состава воды, давления и нагрузок, при которых работают испарители, необходимо поддерживать солесодержание концентрата ниже критического значения, которое для испарителей без промывки пара составляет обычно 6000—12 000 мг/л.

Величина продувки испарителя определяется из уравнения

$$P_{\text{и}} = 100S_{\text{о.в.}} / (S_{\text{кон}} - S_{\text{о.в.}}),$$

где $P_{\text{и}} = 10 \div 20 \%$ — продувка испарителя; $S_{\text{кон}}$ — допустимое солесодержание концентрата испарителей, мг/л; $S_{\text{о.в.}}$ — солесодержание химически обработанной воды, подаваемой в испаритель, мг/л.

Испарители, оборудованные устройствами для промывки вторичного пара питательной водой или собственным дистиллятом, позволяют увеличить солесодержание концентрата до 50 000—100 000 мг/л при получении дистиллята необходимого качества ($S < 0,1$ мг/л.)

1.12. Деаэрация питательной и подпиточной воды

Деаэрация является завершающим этапом обработки питательной воды и защищает энергетическое оборудование и трубопроводы от коррозии.

Наиболее эффективным и универсальным методом удаления из воды всех растворенных газов, нашедшим широкое распространение в энергетике, является термическая деаэрация.

Для деаэрации воды в котельных установках применяются в основном термические деаэраторы атмосферного типа, работающие при давлении 0,12 МПа и $t = 104^\circ\text{C}$; в некоторых случаях, диктуемых тепловой схемой котельной, используются вакуумные деаэраторы, работающие при давлении от 0,0075 до 0,05 МПа, т. е. при температуре воды от 40 до 80°C . Сущность термической деаэрации заключается в установлении равновесия между жидкой и паровой фазами в соответствии с законом Генри, согласно которому концентрация газа, растворенного в воде, пропорциональна парциальному давлению этого газа над поверхностью воды. Закон Генри выражается формулой

$$G = k p_{\text{г}},$$

где G — концентрация газа, растворенного в воде, мг/л; k — коэффициент растворимости газа в воде при значении парциального давления газа над водой 0,1 МПа; $p_{\text{г}}$ — парциальное давление газа над поверхностью воды, МПа.

Коэффициент растворимости газа при одном и том же давлении зависит от температуры, он тем меньше, чем выше температура.

Для полного удаления газа из воды необходимо, чтобы парциальное давление газа над водой равнялось нулю. Это состояние может быть достигнуто при кипении воды, т. е. когда парциальное давление паров воды повысится до давления; поддерживаемого в деаэраторе, а температура воды станет равна температуре насыщения. Процесс деаэрации затормозится, если переходящие в пар газы не будут вместе с паром постоянно отводиться из зоны, где происходит их десорбция из воды.

Широкое применение получила двухступенчатая схема деаэрации. В качестве второй ступени используются различные барботажные устройства, располагаемые, как правило, в аккумуляторных баках деаэраторов (рис. 1.24).

Двухступенчатый барботажный деаэратор состоит из малогабаритной деаэрационной колонки 1, имеющей две перфорированные тарелки 2 и 3, через которые конденсат и химически очищенная вода, перемешиваясь и распыляясь, падают в аккумуляторный бак 4, встречая на своем пути движущийся противотоком пар. В колонке происходит нагрев воды и первая ступень ее деаэрации. Пар, необходимый для деаэрации, подается к барботажному

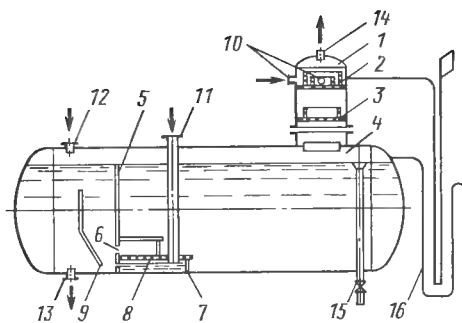


Рис. 1.24. Схема двухступенчатого барботажного деаэризатора:

1 — деаэрационная колонка; 2 — верхняя дырчатая тарелка; 3 — нижняя дырчатая тарелка; 4 — бак-аккумулятор; 5 — секционирующая перегородка; 6 — выходное окно; 7 — паровая коробка; 8 — дырчатый лист; 9 — перегородка; 10 — подвод конденсата и химически обработанной воды; 11 — подвод барботирующего пара; 12 — подвод пара давлением 0,12 МПа; 13 — отвод деаэрированной воды; 14 — выпар из деаэризатора; 15 — слив; 16 — предохранительный и переливной гидрозатвор (комбинированный)

устройству (вторая ступень деаэрации) по трубе 11 от регулятора давления. Обычно давление пара, подаваемого на барботаж, составляет 0,15—0,17 МПа, что достаточно для преодоления сопротивления трубопроводов, арматуры и столба жидкости над барботажным (дырчатым) листом 8. В паровое пространство деаэризатора через патрубок 12 подается пар давлением 0,12—0,13 МПа. Подвод этого пара преследует две цели: использование сбросного низкотемпературного пара (от паровых насосов, расширителей непрерывной продувки котлов и пр.) и осуществление вентиляции парового объема деаэризатора. Большая часть греющего пара конденсируется при нагревании воды, а избыток его вместе с выделившимися из воды газами (эта паровоздушная смесь называется выпаром) удаляется через патрубок 14 в охладитель выпара. Выпар из атмосферных деаэризаторов составляет 2 кг/т деаэрируемой воды.

Устойчивое и глубокое удаление кислорода из питательной воды на выходе из деаэризатора определяется величиной удельного расхода пара на барботаж. Оптимальным расходом пара на барботаж следует считать 20 кг/т деаэрируемой воды, что обеспечивает остаточное содержание кислорода 10—20 мкг/л.

Если греющий пар содержит значительное количество свободной углекислоты и выпар несет с собой углекислоту, удаленную при барботаже, после второй тарелки колонки 1 со-

держание свободной углекислоты в деаэрируемой воде может увеличиваться. Когда барботаж ведется с удельным расходом пара не менее 20—30 кг/т и время пребывания деаэрируемой воды в аккумуляторном баке составляет около 30 мин, NaHCO_3 успевает разложиться примерно на 40—50 % согласно уравнению $2\text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$. Для полного удаления свободной углекислоты необходимо, чтобы в паре, поступающем на барботаж, содержание CO_2 было минимальным.

Термические вакуумные деаэризаторы работают при температурах ниже 100 °С (от 40 до 70 °С), что обуславливает ряд их преимуществ, позволяет снизить расход пара и даже обойтись без него, снизить температуру питательной воды перед экономайзерами, что в свою очередь позволяет осуществить более глубокое охлаждение дымовых газов.

Несомненны преимущества вакуумных деаэризаторов для котельных с водогрейными котлами (где отсутствует пар) и для систем горячего водоснабжения, где требуется температура воды до 65—70 °С.

Наряду с перечисленными достоинствами вакуумная деаэрация имеет ряд существенных недостатков. Для получения эффекта удаления кислорода, равнозначного получаемому в атмосферных деаэризаторах, выпар из вакуумных деаэризаторов должен быть в 2—3 раза большим. Из-за низкой температуры деаэрируемой воды замедляется процесс разложения NaHCO_3 и снижается эффект удаления углекислоты. К недостаткам вакуумной деаэрации нужно также отнести большую металлоемкость колонки для деаэрации как следствие большого удельного объема низкотемпературного пара, трудность создания герметичности элементов установки (возможны подсосы воздуха), дополнительные затраты на создание вакуума (вакуум-насосы, эжекторы, баки, насосы и пр.), расход энергии на отсос выпара.

Вакуумная деаэрация осуществляется двумя способами.

1. В деаэризаторах перегретой воды поступающую в аппарат воду предварительно нагревают в поверхностных подогревателях до температуры, значительно превышающей температуру насыщения при давлении, поддерживаемом в деаэризаторе; поступая в деаэризатор, вода вскипает; выделившийся пар вместе с десорбируемыми газами отводится в охладитель выпара.

Принципиальная схема вакуумной деаэрации дана на рис. 1.25.

Указанное выше подщелачивание деаэрируемой питательной воды силикатом натрия с помощью шайбового дозатора 9 или насоса-дозатора осуществляется, когда исходная вода содержит большое количество свободной

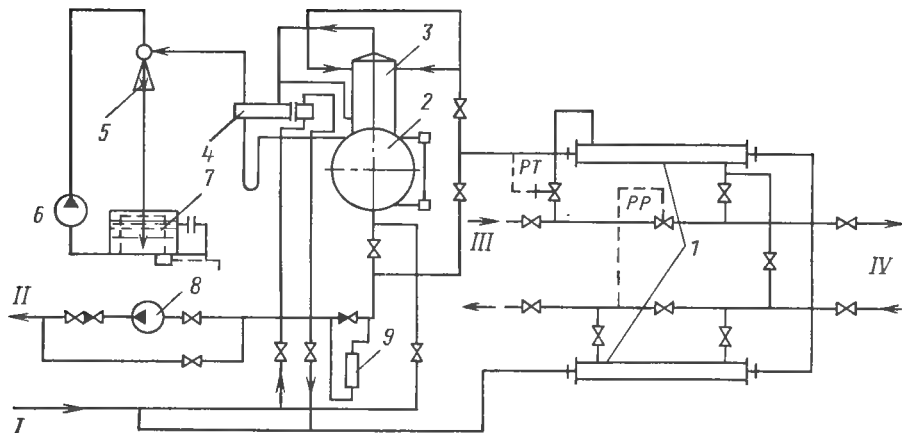


Рис. 1.25. Принципиальная схема вакуумной деаэрации:

1 — секционный подогреватель горячего водоснабжения; 2 — бак деаэрационный; 3 — деаэрационная колонка; 4 — охладитель выпара; 5 — водоструйный эжектор; 6 — насос для эжектора; 7 — бак эжектора; 8 — насос горячей воды; 9 — шайбовый дозатор силиката натрия; I — холодная вода; II — нагретая вода в систему горячего водоснабжения; III — прямая линия сетевой воды; IV — обратная линия сетевой воды; PP — регулятор расхода; PT — регулятор температуры

углекислоты и в процессе деаэрации pH обрабатываемой воды не менее 8.

2. В вакуумных деаэраторах, в которые поступает вода с температурой ниже температуры насыщения, соответствующей давлению в деаэраторе, для подогрева воды до температуры насыщения используется высоконагретая вода или пар.

ЦКТИ разработаны вакуумные барботажные деаэраторы производительностью от 5 до 300 т/ч. Принципиальная схема деаэрационной установки с вакуумным барботажным деаэратором для питания паровых котлов дана на рис. 1.26. Эта схема может быть рекомендована и для отопительно-производственных котельных со значительными потерями конденсата, со средней температурой потоков умягченной воды и конденсата, не превышающей 30–50 °С, при этом расход пара на вакуумные деаэраторы будет значительно меньше, чем на атмосферные.

Деаэрируемая вода подается на верхнюю дырчатую тарелку, пар — под барботажный лист. Для предотвращения попадания кислорода воздуха в деаэрированную воду колонка устанавливается на высоте 8 м от наивысшего уровня воды в баке-аккумуляторе, при этом не допускается применение фланцевых соединений в зоне разрежения.

В баке-аккумуляторе предусматривается паровая подушка, которая обеспечивается подачей незначительного расхода пара через регулятор 5.

Для химического обескислороживания воды применяют метод суль-

фитирования. Гидразин в промышленных котельных установках не применяется ввиду его высокой токсичности.

Сульфит натрия, вступая в реакцию с растворенным в воде кислородом, окисляется

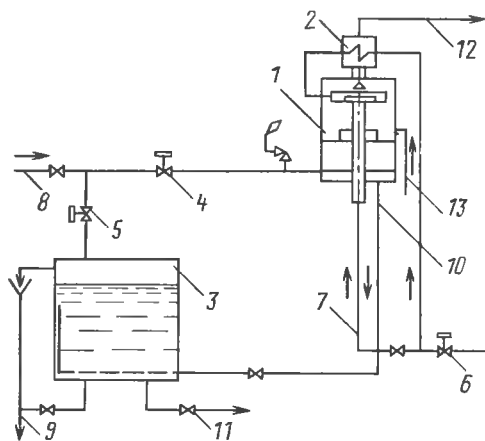
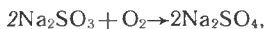


Рис. 1.26. Схема деаэрационной установки с вакуумным барботажным деаэратором:

1 — деаэратор; 2 — охладитель выпара; 3 — бак-аккумулятор; 4 — регулятор подачи пара; 5 — регулятор давления в баке аккумулятора; 6 — регулятор подачи умягченной воды; 7 — подвод умягченной воды; 8 — подвод пара; 9 — дренаж; 10 — отвод деаэрированной воды из деаэратора; 11 — подача воды к питательным насосам; 12 — отсос паровоздушной смеси (выпар); 13 — подвод конденсата

до сульфата натрия по реакции



которая протекает при подогреве воды до температуры более 70 °С при значениях $\text{pH}=5\div 8$ достаточно быстро.

Образующийся сульфат натрия легко растворим и не опасен в коррозионном отношении. На 1 мг/л кислорода требуется ввести 8 мг/л сульфита натрия.

Чтобы избежать излишнего увеличения сухого остатка воды, сульфитирование используют обычно для удаления небольших количеств кислорода после термической деаэрации. В настоящее время сульфитирование в котельных небольшой паропроизводительности (1—3 т/ч) и для подпитки закрытых теплосетей при небольшом расходе воды используется в исключительно редких случаях.

1.13. Показатели качества воды после отдельных стадий ее обработки

Приняты условные обозначения технологических показателей качества исходной воды: $S_{\text{н.в}}$ — сухой остаток; $Ш_{\text{н.в}}$ — щелочность; $Ж_{\text{о}}$, $Ж_{\text{н.к}}$ — соответственно жесткость общая, карбонатная и некарбонатная; B — содержание взвешенных веществ; $O_{\text{н.в}}$ — окисляемость; $(\text{SO}_4^{2-})_{\text{н.в}}$ и $(\text{Cl}^-)_{\text{н.в}}$ — содержание сульфатов и хлоридов в исходной воде, мг-экв/л; $(\text{CO}_2)_{\text{н.в}}$ — содержание свободной углекислоты в исходной воде; $(Ж_{\text{Ca}})_{\text{н.в}}$ и $(Ж_{\text{Mg}})_{\text{н.в}}$ — кальциевая и магниевая жесткость исходной воды, мг-экв/л.

Схема 1. Коагуляция - осветление в осветлителях с взвешенным шламом, фильтрование на осветлительных фильтрах (для вод с $Ж_{\text{к}} \geq D_{\text{к}} + 0,5$).

Технологические показатели качества обработанной воды: прозрачность — 30 см и более по шрифту, содержание взвешенных веществ после осветлителя — не более 10 мг/л, после осветлительных фильтров — не более 2 мг/л, остаточная окисляемость около 50 % исходной, остаточное содержание алюминия — 50—150, но не более 300 мкг/л (в пересчете на Al), остаточное содержание железа — 100—150 мкг/л при хлорировании до 100 мкг/л (в пересчете на Fe). Остальные показатели подсчитываются по формулам

$$Ж_{\text{н.к}}^{\text{о.в}} = Ж_{\text{н.к}} - D_{\text{к}};$$

$$(\text{SO}_4^{2-})_{\text{о.в}} = (\text{SO}_4^{2-})_{\text{н.в}} + D_{\text{к}};$$

$$Ж_{\text{н.к}}^{\text{о.в}} = Ж_{\text{н.к}} + D_{\text{к}}; \quad (\text{CO}_2)_{\text{о.в}} = (\text{CO}_2)_{\text{н.в}} + 44D_{\text{к}},$$

где $Ж_{\text{н.к}}^{\text{о.в}}$ и $Ж_{\text{н.к}}$ соответственно жесткость

карбонатная и некарбонатная обработанной воды, мг-экв/л; $(\text{SO}_4^{2-})_{\text{о.в}}$ — содержание сульфатов в обработанной воде, мг-экв/л; $(\text{CO}_2)_{\text{о.в}}$ — содержание свободной углекислоты в обработанной (коагулированной) воде, мг/л; $D_{\text{к}}$ — доза коагулянта $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ [либо $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ и др.], мг-экв/л.

Схема 2. Коагуляция в осветлителях с подщелачиванием известью, фильтрование на осветлительных фильтрах (для вод с $Ж_{\text{к}} \leq D_{\text{к}} + 0,5$).

Результаты осветления будут те же, что и в предыдущей схеме 1, состав обработанной воды определится из уравнений

$$(Ж_{\text{о}})_{\text{о.в}} = Ж_{\text{о}} + D_{\text{к}};$$

$$S_{\text{о.в}} = S_{\text{н.в}} + \alpha D_{\text{к}};$$

$$(\text{SO}_4^{2-})_{\text{о.в}} = (\text{SO}_4^{2-})_{\text{н.в}} + D_{\text{к}};$$

$$(\text{Cl}^-)_{\text{о.в}} = (\text{Cl}^-)_{\text{н.в}} + D_{\text{к}},$$

где $S_{\text{о.в}}$ — сухой остаток обработанной воды, мг/л; $(Ж_{\text{о}})_{\text{о.в}}$ — жесткость общая обработанной воды; $\alpha = 68,07$ — коэффициент, учитывающий природу коагулянта при коагуляции сернокислым железом или алюминием; при коагуляции хлорным железом $\alpha = 55,5$; $(\text{Cl}^-)_{\text{о.в}}$ — содержание хлоридов в обработанной воде при коагуляции хлорным железом, мг-экв/л; $(\text{SO}_4^{2-})_{\text{о.в}}$ — содержание сульфатов в обработанной воде, мг-экв/л, при коагуляции сернокислым железом или алюминием.

Схема 3. Известкование с коагуляцией в осветлителях, фильтрование на осветлительных фильтрах (коагулянт FeSO_4).

1) Если известкуется исходная вода с соотношением $(\text{Ca}^{2+})_{\text{н.в}} \geq Ж_{\text{к}} - (Ж_{\text{к}})_{\text{ост}}$, то из исходной воды удаляется свободная углекислота, снижается карбонатная жесткость и сухой остаток обрабатываемой воды, причем остаточная карбонатная жесткость тем меньше, чем больше содержание кальция в воде (см. табл. 1.5):

$$(Ж_{\text{к}})_{\text{ост}} = 0,5 - 0,7 \text{ мг-экв/л};$$

$$(Ж_{\text{о}})_{\text{о.в}} = Ж_{\text{о}} - [Ж_{\text{к}} - (Ж_{\text{к}})_{\text{ост}}] + D_{\text{к}},$$

$$S_{\text{о.в}} = S_{\text{н.в}} - 20,04 [(Ca)_{\text{н.в}} - (Ж_{\text{к}})_{\text{ост}}] - 61,02 [Ж_{\text{к}} - (Ж_{\text{к}})_{\text{ост}}] / 2 + 68,07 D_{\text{к}};$$

$$(\text{SO}_4^{2-})_{\text{о.в}} = (\text{SO}_4^{2-})_{\text{н.в}} + D_{\text{к}}.$$

Для рассматриваемого случая кальциевая жесткость известкованной воды определяется из уравнения

$$(Ж_{\text{Ca}})_{\text{о.в}} = Ж_{\text{Ca}} - [Ж_{\text{к}} - (Ж_{\text{к}})_{\text{ост}}].$$

Магниевая жесткость известкованной воды в этом случае будет равна магниевой жесткости исходной воды. Результаты осветления можно принять те же, что и в схеме 1, однако

надо отметить, что более тяжелые осадки карбоната кальция значительно улучшают процесс осветления.

2) Если известзуется исходная вода с соотношением $(Ca^{2+})_{и.в} < J_K - (J_K)_{ост}$, то из воды удаляются кальций и магний или часть магния, связанного с бикарбонат-ионом; карбонатная жесткость и сухой остаток обрабатываемой воды снижаются и принимаются равными:

$$(J_K)_{ост} \approx 0,7 - 1,0 \text{ мг-экв/л}; (J_{Co})_{о.в} = J_{Co} - [J_K - (J_K)_{ост}];$$

$$S_{о.в} = S_{и.в} - 20,04 (Ca^{2+})_{и.в} - 12,16 [J_K - (Ca^{2+})_{и.в} - (J_K)_{ост}] - 61,02 [J_K - (J_K)_{ост}]/2.$$

В схеме 3 (п. 2) известкованием кальция удаляется практически полностью, остаточное содержание кальция в известкованной воде будет соответствовать избыточной дозе извести, которую принимают для более полного осаждения магния $(J_{Ca})_{о.в} = 0,5 \div 0,3 \text{ мг-экв/л}$.

Магнєвая жесткость известкованной воды в этой схеме определится из уравнения

$$(J_{Mg})_{о.в} = J_K - (J_K)_{ост} - (J_{Ca})_{и.в}.$$

Показатель стабильности известкованной воды — см. п. 1.4.2.

Схема 4. На-катионирование. В зависимости от требований к эффекту умягчения воды осуществляют одно- или двухступенчатое на-катионирование.

Фильтрат с остаточной жесткостью 0,1 мг-экв/л получают при одноступенчатом на-катионировании с удельным расходом соли на регенерацию, определяемым в зависимости от качества исходной воды (см. рис. 1.5).

Остаточная жесткость после второй ступени на-катионирования (регенерируемой с удельным расходом соли 350—400 г/г-экв) составляет 0,01 мг-экв/л.

Общая щелочность воды при на-катионировании не изменяется: $Щ_{о.в} = Щ_{и.в}$; сухой остаток увеличивается, его можно определить из уравнения

$$S_{Na} = S_{и.в} + 2,96 J_{Ca} + 10,84 J_{Mg},$$

где S_{Na} — сухой остаток на-катионированной воды, мг/л.

Если на-катионирование проводится после известкования, в уравнении значения кальциевой и магниевой жесткости принимаются не исходной, а известкованной воды (см. их определения для схем 3, п. 1 или 3, п. 2).

При на-катионировании воды после Н-катионирования с «голодной» регенерацией фильтров содержание кальция и магния следует рассчитывать в соответствии с указаниями, данными к схеме 5.

Схема 5. Н-катионирование с «голодной» регенерацией фильтров.

При Н-катионировании с «голодной» регенерацией фильтров возможно снижение карбонатной жесткости (с разрушением HCO_3^-) до 0,5—1,5 мг-экв/л.

Остаточная карбонатная жесткость при этом $J_K^H = 0,5 \div 1,5 \text{ мгкв/л}$.

Общая жесткость Н-катионированной воды $(J_K)_{H_i} = J_K - [J_K - (J_K)_{ост}]$.

Сухой остаток Н-катионированной воды определяется из уравнения

$$S_{H_i} = S_{и.в} - 20,04 (J_{Ca})_{H_i} - 12,16 (J_{Mg})_{H_i} - 61,02 [J_K - (J_K)_{ост}]/2,$$

где S_{H_i} — сухой остаток воды после Н-катионирования с «голодной» регенерацией, мг/л; $(J_{Ca})_{H_i}$ и $(J_{Mg})_{H_i}$ — кальциевая и магниевая жесткость, удаляемая при Н-катионировании с «голодной» регенерацией фильтров.

Количество свободной углекислоты, образующейся в процессе разрушения бикарбоната при Н-катионировании и подлежащее удалению в декарбонизаторе, определяется в § 1.6.

Схема 6. Параллельное Н-на-катионирование. При параллельном Н-на-катионировании (см. п. 1.5.3) Н-катионитные и На-катионитные фильтры работают до проскока жесткости (остаточная жесткость 0,1 мг-экв/л). Качество воды после на-катионитных фильтров будет отвечать данным, приведенным в схеме 4.

Технологические показатели качества Н-катионированной воды: общая жесткость — 0,1 мг-экв/л; сухой остаток, мг/л, определится из уравнения

$$S_H = S_{и.в} - 20,04 J_{Ca} - 12,16 J_{Mg} - 61,02 J_K/2;$$

кислотность фильтрата, мг-экв/л, будет равна:

$$K_{\phi} = J_K - J_K.$$

После смешения Н-катионированной воды с на-катионированной и декарбонизации обработанная вода будет иметь состав: $J_{о.в} = 0,1 \text{ мг-экв/л}$; $Щ_{о.в} = 0,3 \div 0,4 \text{ мг-экв/л}$.

Сухой остаток Н-на-катионированной воды определяется пропорционально качеству и количеству компонентов:

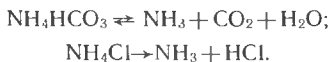
$$S_{о.в} = (S_{Na} Q_{Na} + S_H Q_H)/Q_v,$$

где Q_v — количество умягченной воды.

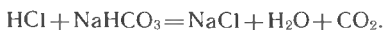
Схема 7. Частичное химическое обессоливание. При составе исходной воды, когда достаточно вести Н-катио-

нирование до проскока катионов жесткости (см. рис. 1.9, а, б), натрий из исходной воды не удаляется, а остаточное содержание сульфатов и хлоридов (в зависимости от качества исходной воды) определяется по уравнениям.

Схема 8. NH_4 — Na-катионирование воды применяется только в комбинации с Na-катионированием (схемы совместного или параллельного NH_4 — Na-катионирования), так как могут образовываться в котле сильные кислоты (см. реакции в п. 1.5.6). NH_4 — Na-катионированная вода имеет щелочность, равную таковой в исходной воде, и только в котле происходит разложение аммонийных солей:



Образующиеся аммиак и уголекислота уносятся содержащимся в котловой воде паром, а сильные кислоты нейтрализуются бикарбонатом натрия:



Содержание бикарбонат-иона должно быть достаточным, чтобы обеспечить остаточную щелочность, равную 0,7 мг-экв/л.

Вода, обработанная по схеме NH_4 — Na-катионирования, имеет состав: условная остаточная щелочность 0,7 мг-экв/л; общая жесткость 0,1 мг-экв/л (при наличии второй степени Na-катионирования — 0,01 мг-экв/л); изменения сухого остатка подсчитываются суммированием снижения сухого остатка за счет NH_4 -катионирования

$$\begin{aligned}\Delta S &= 61,02(\text{Ж}_\text{к} - \text{Ш}_{\text{о.в}}) - 20,04(\text{Ж}_{\text{Ca}})_{\text{NH}_4} - \\ &- 12,16(\text{Ж}_{\text{Mg}})_{\text{NH}_4},\end{aligned}$$

и увеличения сухого остатка за счет Na-катионирования, определяемого по схеме 4.

1.14. Выбор схемы обработки воды

В энергетике к потребителям химически обработанной воды относятся паровые котлы, испарители, парообразователи, тепловые сети с закрытой или открытой системой теплоснабжения (включая водогрейные котлы), системы горячего водоснабжения.

Для правильного выбора схемы обработки воды необходимо иметь следующие исходные данные:

1) анализы воды источника водоснабжения в соответствии с указаниями, изложенными в § 1.2;

2) требования, предъявляемые потребителем к химически обработанной воде (ГОСТ,

СНиП и т. п.);

3) для паровых котлов важно значение возврата конденсата (в % паропроизводительности котельной); часто этот фактор является решающим при выборе схем для производственных котельных

Приступая к наладке водоподготовительной установки, обязательно проверка правильности выбранной технологической схемы.

В неправильном выборе схемы могут быть повинны не только проектная организация, но и неправильно сформулированные требования к обработанной воде или неполно в свое время представленные анализы исходной воды и ряд других причин.

При обнаружении во время эксплуатации резких колебаний состава исходной воды следует не только проверять возможность осуществления принятой схемы, но и проводить расчет оборудования в соответствии с приведенными данными, внося необходимые изменения в проектные решения.

Требования, предъявляемые паровыми котлами к обработанной воде, зависят от рабочего давления котла (0,9; 1,4; 2,4; 4 МПа), качества сжигаемого топлива (твердое топливо, газ или мазут), особенностей конструкции котла.

При выборе схем обработки воды следует исключить использование устаревших нормативов данных и пользоваться только официальными действующими нормами (ГОСТ, СНиП и т. п.), а также предъявляемыми к качеству питательной и котловой воды паспортными данными завода-изготовителя.

Выбор схем при проектировании должен увязываться с решением задач по защите окружающей среды путем сокращения или даже полного исключения сброса загрязненных солями и взвесью стоков и т. п. Одновременно должны выявляться побочные факторы, влияющие на выбор схемы; это наличие на предприятии тех или иных реагентов (серной кислоты, едкого натра, извести и др.), сезонность или отдаленность доставки реагентов, возможность сброса шламовых вод, сейсмичность региона, требующая сооружения водоподготовки без громоздкого оборудования.

Основные схемы обработки добавочной воды, рекомендуемые для паровых котлов, приведены ниже.

1. При использовании поверхностных вод.

Схема 1. Осветление на осветлительных (механических) фильтрах — табл. 1.6, Na-катионирование — п. 1.5.1 (удаление взвешенных веществ, умягчение) ¹.

¹ Здесь и ниже в скобках указан основной результат применения данной схемы.

Схема 2. Осветление на фильтрах с двухслойной загрузкой — табл. 1,6 На-катионирование — п. 1.5.1 (удаление взвешенных веществ, умягчение).

Схема 3. Коагуляция в осветлителях — табл. 1.4 — фильтрование на осветлительных фильтрах, На-катионирование — п. 1.5.1 (удаление взвешенных веществ, снижение окисляемости, умягчение).

Схема 4. Известкование с коагуляцией в осветлителях — п. 1.4.2, На-катионирование — п. 1.5.1 (удаление взвешенных веществ, снижение окисляемости, снижение щелочности, удаление свободной углекислоты, частичное снижение соледержания, умягчение).

Схема 5. Известкование с коагуляцией в осветлителях — п. 1.4.2, частичное химическое обессоливание — п. 1.5.5 (удаление взвешенных веществ, снижение окисляемости, снижение щелочности, удаление свободной углекислоты, частичное снижение соледержания).

II. При использовании артезианских, осветленных вод или воды из питьевого водопровода.

Схема 6. На-катионирование п. 1.5.1 (умягчение).

Схема 7. Н-катионирование с «голодной» регенерацией Н-катионитных фильтров — п. 1.5.4, декарбонизация — § 1.6, На-катионирование — п. 1.5.1 (снижение щелочности, удаление свободной углекислоты, частичное снижение соледержания, умягчение).

Схема 8. Параллельное Н -- На-катионирование — п. 1.5.3, декарбонизация — § 1.6 (снижение щелочности, удаление свободной углекислоты, частичное снижение соледержания, умягчение).

Схема 9. NH_4 — На-катионирование п. 1.5.6 (умягчение, снижение щелочности в процессе упаривания воды в котле).

Схема 10. Na — Cl-ионирование п. 1.5.7 (умягчение, снижение щелочности).

Схема 11. Обезжелезивание артезианских вод — § 1.8, может осуществляться перед схемами 6 — 10.

Схема 12. Термическое обессоливание — § 1.11 (получение дистиллята осуществляется при больших потерях конденсата и использовании высокоминерализованной исходной воды).

Все паровые котлы, сжигающие высококалорийное топливо (газ, мазут) и имеющие экранированные поверхности нагрева, независимо от производительности и давления требуют глубокого умягчения воды ($\text{Ж}_{\text{с}} \leq 0,01$ мг-экв/л), поэтому все перечисленные схемы умягчения исходной воды должны предусматривать вторую ступень На-катионирования.

В дополнение к перечисленным схемам водоподготовки в соответствии с требованиями к качеству питательной воды используются коррекционные методы обработки воды, изложенные в § 1.16.

Химически обработанная вода по всем перечисленным выше схемам для паровых котлов в смеси с возвращаемым от производства конденсатом подвергается деаэрации (см. 1.12) в деаэраторах атмосферного или вакуумного типа.

Приступая к выбору схемы для паровых котлов, следует установить по ГОСТ 20995-75 ** или другому официальному источнику, каким требованиям должна отвечать питательная вода по основным показателям: жесткости, содержанию кислорода, углекислоты, pH и пр. Этим же основным показателям должна отвечать и обработанная вода, но из-за различий качества исходной воды и других условий требуется проводить проверку пригодности той или иной схемы ВПУ по трем важным показателям водно-химического режима: продукте котлов, содержанию углекислоты в паре и относительной щелочности котловой воды.

Продукцию котлов по сухому остатку определяют из уравнения, %

$$P = S_{\text{о.в}} \alpha_{\text{о.в}} \cdot 100 / (S_{\text{к.в}} - S_{\text{о.в}} \alpha_{\text{о.в}}),$$

где $\alpha_{\text{о.в}}$ — доля обработанной воды, определяется из пароводяного баланса котельной, учитывающего потери конденсата (на производстве, на разогрев мазута, потери в деаэраторе подпиточной воды, с выпаром из деаэратора питательной воды и т. п.); $S_{\text{о.в}}$ — сухой остаток обработанной воды, мг/л, подсчитывается в соответствии с данными § 1.13, $S_{\text{к.в}}$ — сухой остаток котловой воды, принимается по паспортным данным завода-изготовителя, мг/л.

Согласно данным ЦКТИ котлы с давлением до 2,4 МПа при производительности 10 т/ч и выше должны работать с продувкой не более 10 % при соледержании питательной воды до 500 мг/л. При давлении до 4 МПа и соледержании питательной воды до 250 мг/л размер продувки не должен превышать 5 % при наличии двухступенчатого испарения и надежных внутрикотловых устройств.

Расчет продувки ведется на максимальные потери пара и конденсата и худшие показатели (по сухому остатку) исходной воды.

Если продувка значительно превышает допустимую, принимается схема обработки воды, обеспечивающая снижение сухого остатка обрабатываемой воды.

Допустимое содержание углекислоты в паре при рассмотрении схем по этому показателю принимается в соответствии с ГОСТ 20995—75 ** в зависимости от

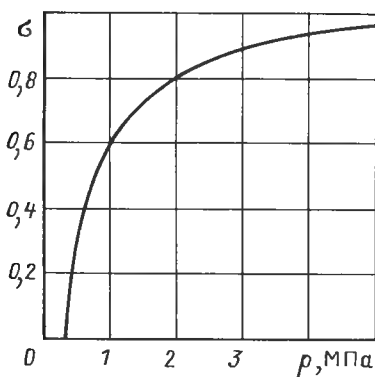


Рис. 1.27. Зависимость разложения Na_2CO_3 от давления в котле

условий использования пара потребителями.

При разветвленной сети потребителей пара содержание углекислоты в нем не должно превышать 20 мг/кг; при централизованном потреблении пара и обязательном осуществлении вентиляции паровых объемов парoisпользующей аппаратуры и надежном удалении при этом углекислоты ее содержание в паре можно допустить до 100 мг/кг.

В целях предотвращения углекислотной коррозии рекомендуется применять:

а) дегазацию конденсата в парoisпользующей аппаратуре;

б) аминирование питательной воды котлов, если потребители пара допускают наличие в нем аммиака, а в конденсатном тракте отсутствуют детали из медных сплавов;

в) схемы водоподготовки со снижением щелочности исходной воды.

Концентрация углекислоты в паре при использовании деаэраторов ДСА (без барботажа) определяется по формуле, мг/кг

$$\text{CO}_2 = 22 \alpha_{\text{о.в}} \alpha_{\text{о.в}} (1 - \sigma),$$

где $\alpha_{\text{о.в}}$ — щелочность обработанной воды, мг-экв/л; σ — доля разложения Na_2CO_3 в котле, принимается по графику рис. 1.27.

При деаэрации питательной воды в деаэраторах с барботажем пара концентрация углекислоты в паре определяется из уравнения

$$\text{CO}_2 = 22 \alpha_{\text{о.в}} \alpha_{\text{о.в}} (\sigma_1 + \sigma),$$

где $\sigma_1 \approx 0,4$ — доля разложения NaHCO_3 в котле (60 % разлагается в барботажном деаэраторе и удаляется с выпаром).

Относительная щелочность котловой воды выше нормируемых пределов может вызвать межкристаллитную коррозию или так называемую каустическую хрупкость.

В соответствии с РТМ ЦКТИ 108.030.114—77 относительная щелочность котловой воды должна быть:

При наличии заклепочных соединений	20 %
При наличии вальцовочных соединений	Не более 50 %
При наличии только сварных соединений	Не нормируется

Относительная щелочность котловой воды равна относительной щелочности обработанной воды (разбавление конденсатом и концентрирование солей в котле относительную щелочность не изменяют); относительная щелочность определяется из уравнения

$$\alpha_{\text{от}}^{\text{к.в}} = \alpha_{\text{от}}^{\text{о.в}} = 40 \alpha_{\text{о.в}} \cdot 100 / S_{\text{о.в}},$$

где $\alpha_{\text{от}}^{\text{к.в}}$ и $\alpha_{\text{от}}^{\text{о.в}}$ — относительная щелочность соответственно котловой и обработанной воды, %; $\alpha_{\text{о.в}}$ — щелочность обработанной воды, мг-экв/л; $S_{\text{о.в}}$ — сухой остаток обработанной воды, мг/л; 40 — эквивалентная масса NaOH, мг/мг-экв.

Если один из трех перечисленных показателей выбора схем обработки воды для паровых котлов не отвечает приведенным нормам (при проверке на наиболее простую схему, например, Na-катионирования), принимают другую схему в зависимости от необходимости снизить сухой остаток, содержание углекислоты в паре или относительную щелочность котловой воды; одновременно предусматривают все методы обработки, чтобы питательная вода отвечала всем нормам, приведенным в ГОСТ 20995—75: по жесткости, содержанию кислорода, свободной углекислоте, pH и пр.

При величине относительной щелочности более допустимых норм применяется дозировка в котловую воду ингибиторов данного вида коррозии (см. п. 1.16.3).

Выбор схем обработки воды для открытых и закрытых систем теплоснабжения (в том числе и водогрейных котлов), систем горячего водоснабжения и описание необходимых методов обработки приведены в § 1.9.

1.15. Расчет загрязнений стоков ВПУ при различных методах обработки воды

Расчет загрязнения сточных вод от водоподготовительных установок котельных производится на основании анализов исходной воды, выполненных в соответствии с указаниями, приведенными в § 1.2, и расчета ВПУ на

данную исходную воду (техническая характеристика выбранного оборудования, его количество, число регенераций и пр.).

При сложных схемах обработки воды количественный и качественный составы стоков рассчитываются на одни сутки отдельно для каждой стадии обработки воды. Для источников водоснабжения с переменным составом воды по временам года (зима, весенний паводок и пр.) в расчет принимается соответствующий времени года анализ воды, режим работы котельной и расчет водоподготовительного оборудования.

1.15.1. Стоки при известковании и коагуляции в осветлителях

При известковании и коагуляции поверхностных вод с продувкой осветлителей сбрасывается часть коагулированной и известкованной (частично умягченной) воды с твердыми частицами шлама, состоящими из взвешенных веществ, находящихся в исходной воде, органических и минеральных коллоидных веществ, адсорбированных хлопьями коагулянта ($\text{Fe}(\text{OH})_3$ при коагуляции с известкованием или $\text{Al}(\text{OH})_3$ при коагуляции без известкования), продуктов осаждения солей кальция и магния в виде CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$, а также веществ, внесенных в воду известковым молоком (не участвующими в реакциях осаждения).

Расчет осветлителей приведен в § 1.4.

После осветлителей вода с содержанием взвешенных веществ до 10 мг/л для более полного осветления поступает на механические фильтры, однако, учитывая, что при промывке фильтров воду собирают в бак, из которого она вновь поступает в осветлитель — можно считать, что все взвешенные вещества удаляются из осветлителя.

Количество шлама, сбрасываемое в сутки из осветлителя при коагуляции, определяется из уравнения, кг/сут;

$$Q_{\text{ш.к}}^{\text{сут}} = Q_{\text{ш}}^{\text{к}} Q_0 \cdot 24/1000,$$

где $Q_{\text{ш}}^{\text{к}}$ — количество шлама, образующегося при коагуляции, г/м³; Q_0 — производительность осветлителя, м³/ч.

Количество шлама, сбрасываемого в сутки из осветлителя при коагуляции с известкованием, кг/сут, определяется из уравнения, кг/сут:

$$Q_{\text{ш.и}}^{\text{сут}} = 24 Q_{\text{ш}}^{\text{и}} Q_0 \cdot 1000,$$

где $Q_{\text{ш}}^{\text{и}}$ — количество шлама, образующегося при коагуляции с известкованием, г/м³.

Количество воды, сбрасываемое из осветлителей в сутки, м³/сут,

$$Q_{\text{сут}} = 24 Q_0 P / 100,$$

где P — продувка осветлителя, % производительности осветлителя.

Количество CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$, образующихся при известковании, зависит от состава исходной воды: если $J_{\text{Ca}} \geq \text{HCO}_3^- - \text{Ш}_{\text{ост}}^{\text{и}}$, то осаждают из воды кальций, магний не удаляется, количество образующегося $[\text{CaCO}_3]$ определяется из уравнения

$$[\text{CaCO}_3] = \text{HCO}_3^- - \text{Ш}_{\text{ост}}^{\text{и}}.$$

Количество $[\text{CaCO}_3]$, сбрасываемое от осветлителя в сутки, определяется из уравнения, кг/сут:

$$[\text{CaCO}_3]_{\text{сут}} = 24 Q_0 \cdot 50,05 [\text{CaCO}_3] / 1000,$$

где 50,05 — эквивалентная масса CaCO_3 , г.

Если $J_{\text{Ca}} < \text{HCO}_3^- - \text{Ш}_{\text{ост}}^{\text{и}}$, то осаждаются Ca^{2+} и Mg^{2+} , мг-экв/л:

$$[\text{CaCO}_3] = J_{\text{Ca}}^{\text{и.в.}}$$

$$[\text{Mg}(\text{OH})_2] = \text{HCO}_3^- - \text{Ш}_{\text{ост}}^{\text{и}} - J_{\text{Ca}}^{\text{и.в.}}$$

Количество $[\text{Mg}(\text{OH})_2]_{\text{сут}}$, сбрасываемое в сутки из осветлителя, определится из уравнения, кг/сут

$$[\text{Mg}(\text{OH})_2]_{\text{сут}} = 24 Q_0 \cdot 29,16 [\text{Mg}(\text{OH})_2] / 1000,$$

где 29,16 г — эквивалентная масса $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

1.15.2. Стоки от регенерации Na-катионитных фильтров

При регенерации Na-катионитных фильтров кроме солей, содержащихся в исходной воде, сбрасываются продукты регенерации фильтров — CaCl_2 и MgCl_2 , а также избыток поваренной соли, который берется для более глубокой регенерации фильтрующего материала. При проведении операции взрыхления возможно попадание в сток измельченного фильтрующего материала; используемая для регенерации техническая поваренная соль содержит до 7 % различных примесей, которые также поступают в сток.

Количество воды, сбрасываемой от одной регенерации Na-катионитного фильтра, определяется в § 1.5.

Количество воды, сбрасываемое в сутки от Na-катионитных фильтров, определяется из уравнения, м³/сут.

$$Q_{\text{сут}}^{\text{Na}} = Q_{\text{с.и}} a n,$$

где $Q_{\text{с.и}}$ — расход воды на одну регенерацию Na-катионитного фильтра, м³; a — количество работающих фильтров (без резервных); n — число регенераций каждого фильтра в сутки.

Количество продуктов регенерации CaCl_2 и MgCl_2 , сбрасываемых за одну регенерацию, принимается по расчету ВПУ и определяется из уравнения

$$\mathcal{J}_p = f H_{\text{cl}} E_p^{\text{Na}} / 1000,$$

где $\mathcal{J}_p$ — количество солей кальция и магния, удаляемое за одну регенерацию фильтра, кг-экв; f — площадь Na-катионитного фильтра, м^2 ; H_{cl} — высота слоя катионита, м; E_p^{Na} — рабочая обменная емкость катионита, г-экв/ м^3 .

Долю солей Ca и Mg в регенерируемом фильтре можно принять в том же соотношении, в котором они содержались в исходной воде, например, если в исходной воде жесткость кальциевая составляла 70 %, то и доля кальция в удаляемых из фильтра продуктах регенерации будет $\alpha_{\text{Ca}} = 0,7$.

Количество CaCl_2 , удаляемого за одну регенерацию фильтра, кг-экв, определится из уравнения

$$[\text{CaCl}_2] = \mathcal{J}_p \alpha_{\text{Ca}}.$$

Количество MgCl_2 , сбрасываемого за одну регенерацию фильтра, определяется по формуле, кг-экв

$$[\text{MgCl}_2] = \mathcal{J}_p \alpha_{\text{Mg}}.$$

Количество CaCl_2 и MgCl_2 , сбрасываемое в течение суток, определяется из уравнений, т/сут

$$[\text{CaCl}_2]_{\text{сут}} = 55,5 [\text{CaCl}_2] a n / 1000;$$

$$[\text{MgCl}_2]_{\text{сут}} = 47,6 [\text{MgCl}_2] a n / 1000,$$

где 55,5 и 47,6 г — эквивалентная масса соответственно CaCl_2 и MgCl_2 ; a — количество работающих фильтров; n — число регенераций каждого фильтра в сутки; принимаются из расчета водоподготовительной установки.

Сброс продуктов регенерации от Na-катионитных фильтров второй ступени отдельно не рассчитывается, так как регенерация этих фильтров производится 1 раз в 10—15 сут и значительно раньше истощения катионита, что не сказывается на расчете, поэтому все сбросы принимаются по первой ступени Na-катионирования.

Избыток соли, сбрасываемый в дренаж от одной регенерации фильтра, определяется из уравнения

$$[\text{NaCl}] = (q_c - 58,44) f H_{\text{cl}} E_p^{\text{Na}},$$

где $[\text{NaCl}]$ — избыток соли, сбрасываемый за одну регенерацию, кг; q_c — удельный расход соли на одну регенерацию катионита, принимается из расчета водоподготовительной установки, выполняемого в соответствии с указаниями п. 1.5.1 (следует также учитывать мероприятия по повторному использованию регенеративных вод), г/г-экв; $f H_{\text{cl}}$ — объем катио-

нита в фильтре, принимается по расчету водоподготовительной установки, м^3 ; E_p^{Na} — рабочая обменная емкость катионита (принимается по расчету ВПУ), г-экв/ м^3 ; 58,44 — теоретический удельный расход соли на регенерацию, г/г-экв.

Количество поваренной соли, сбрасываемой в течение суток, т/сут;

$$[\text{NaCl}]_{\text{сут}} = [\text{NaCl}] a n / 1000.$$

Сброс измельченного катионита в течение суток незначителен, годовой износ катионита подсчитывается из уравнения

$$I_k = \gamma_k f H_{\text{cl}} a b / 100,$$

где I_k — количество измельченного катионита, сбрасываемого в дренаж в течение года, т; γ_k — насыпная масса катионита, т/ м^3 ; a — количество установленных фильтров (по расчету ВПУ); b — механический годовой износ катионита, %, принимается по паспортным данным на катионит, используемый в фильтре.

1.15.3. Стоки от регенерации H-катионитных фильтров

Схема H-катионирования с «голодной» регенерацией фильтров. Если в исходной воде

$$\mathcal{J}_{\text{Ca}} \geq [\text{HCO}_3] - \mathcal{J}_{\text{ост}}^{\text{H}},$$

то за рабочий цикл фильтра удаляется только кальций, который при регенерации серной кислотой сбрасывается в виде CaSO_4 , его количество в сутки определяется из уравнения

$$[\text{CaSO}_4] = 68,07 (\mathcal{J}_{\text{Ca}} - \mathcal{J}_{\text{ост}}^{\text{H}}) Q \cdot 24 / 1000,$$

где $[\text{CaSO}_4]$ — количество сульфата кальция, сбрасываемое в сутки, кг/сут; 68,07 г — эквивалентная масса CaSO_4 ; $\mathcal{J}_{\text{Ca}}$ — карбонатная жесткость исходной воды, мг-экв/л; $\mathcal{J}_{\text{ост}}^{\text{H}}$ — остаточная карбонатная жесткость, мг-экв/л; Q — производительность ВПУ, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Если в исходной воде

$$\mathcal{J}_{\text{Ca}} < [\text{HCO}_3] - \mathcal{J}_{\text{ост}}^{\text{H}},$$

то H-катионитными фильтрами задерживается весь кальций, содержащийся в исходной воде ($\mathcal{J}_{\text{Ca}}$), и часть магния, определяемая из уравнения

$$\mathcal{J}_{\text{Mg}}^{\text{H}} = \mathcal{J}_{\text{Ca}} - \mathcal{J}_{\text{ост}}^{\text{H}} - \mathcal{J}_{\text{Ca}}^{\text{H}},$$

где $\mathcal{J}_{\text{Mg}}^{\text{H}}$ — часть удаляемой магниевой жесткости исходной воды, мг-экв/л (г-экв/ м^3); $\mathcal{J}_{\text{Ca}}^{\text{H}}$ — кальциевая жесткость исходной воды, мг-экв/л (г-экв/ м^3).

Сброс продуктов регенерации CaSO_4 и MgSO_4 , кг/сут, определяется из уравнений

$$[\text{CaSO}_4]_{\text{сут}} = 68,07 J_{\text{Ca}} Q \cdot 24 / 1000;$$

$$[\text{MgSO}_4]_{\text{сут}} = 60,18 J_{\text{Mg}}^{\text{н}} Q \cdot 24 / 1000,$$

где 60,18 г — эквивалентная масса MgSO_4 .

Схема параллельного Н-Na-катионирования. Подсчет сбрасываемых стоков производится отдельно для Na- и Н-катионитных фильтров без учета второй ступени катионирования.

Сброс от Н-катионитных фильтров сернокислых солей CaSO_4 и MgSO_4 в сутки определяется из уравнений, кг/сут:

$$[\text{CaSO}_4]_{\text{сут}} = 68,07 J_{\text{Ca}} Q^{\text{н}} \cdot 24 / 1000;$$

$$[\text{MgSO}_4]_{\text{сут}} = 60,18 J_{\text{Mg}}^{\text{н}} Q^{\text{н}} \cdot 24 / 1000,$$

где J_{Ca} и J_{Mg} — соответственно кальциевая и магниевая жесткости исходной воды, мг-экв/л (г-экв/м³); $Q^{\text{н}}$ — производительность Н-катионитных фильтров, м³/ч, по расчету ВПУ (см. п. 1.5.3).

Сброс избытка H_2SO_4 от одной регенерации Н-катионитного фильтра определяется из уравнения, кг

$$[\text{H}_2\text{SO}_4] = (q_{\text{н}}^{\text{н}} - 49,04) f H_{\text{св}} E_{\text{р}}^{\text{н}} / 1000,$$

где $q_{\text{н}}^{\text{н}}$ — удельный расход кислоты при регенерации; 49,04 — теоретический удельный расход кислоты, г/г-экв; $E_{\text{р}}^{\text{н}}$ — рабочая обменная емкость катионита, принимается по расчету ВПУ, г-экв/м³.

Сброс H_2SO_4 , т/сут,

$$[\text{H}_2\text{SO}_4]_{\text{сут}} = [\text{H}_2\text{SO}_4]_{\text{ан}} / 1000.$$

Схема частичного химического обессоливания. В соответствии с расчетом ВПУ в этой схеме от Н-катионитных фильтров на сброс поступают все ионы кальция и магния, содержащиеся в исходной воде, в виде CaSO_4 и MgSO_4 (при работе фильтра до «проскока» жесткости) и частично натрия в виде Na_2SO_4 (в схемах с частичным удалением Na^+).

Количество $[\text{CaSO}_4]_{\text{сут}}$ и $[\text{MgSO}_4]_{\text{сут}}$ определяется по формулам, в которых производительность Н-катионитных фильтров $Q^{\text{н}}$ соответствует производительности установки частичного обессоливания воды.

Сброс $[\text{Na}_2\text{SO}_4]$ определяется из уравнения, кг/сут:

$$[\text{Na}_2\text{SO}_4]_{\text{сут}} = 71,02 (\sum C_{\text{к}} - J_0 - \text{Na}_{\text{ост}}) \times Q_{\text{у.у}} \cdot 24 / 1000,$$

где 71,02 — эквивалентная масса Na_2SO_4 ; остальные данные принимаются по расчету ВПУ, выполняемому в соответствии с п. 1.5.5; $\sum C_{\text{к}}$ — сумма катионов в исходной воде, мг-

экв/л; J_0 — общая жесткость исходной воды, мг-экв/л; $\text{Na}_{\text{ост}}$ — остаточное содержание натрия в частично обессоленной воде, принятое в расчете, мг-экв/л; $Q_{\text{у.у}}$ — производительность обессоливающей установки, м³/ч.

1.15.4. Стоки от регенерации анионитных фильтров в схемах частичного обессоливания воды

При регенерации едким натром анионитных фильтров в схемах частичного химического обессоливания сбрасываются продукты регенерации Na_2SO_4 , NaCl и избыток NaOH .

Сброс измелченного анионита во время взрыхления фильтра подсчитывается так же, как и для катионита.

Сброс от анионитного фильтра сульфатов и хлоридов натрия в сутки определяется из уравнений, кг/сут.

$$[\text{Na}_2\text{SO}_4]_{\text{сут}} = 71,02 (\text{Na}_2\text{SO}_4)_{\text{Qa}} \cdot 24 / 1000,$$

где $[\text{Na}_2\text{SO}_4]$ — концентрация анионов SO_4^{2-} , удаляемых при частичном обессоливании, в пересчете на Na_2SO_4 , мг-экв/л; $Q_{\text{а}}$ — производительность анионитных фильтров, м³/ч;

$$[\text{NaCl}]_{\text{сут}} = 58,44 (\text{NaCl})_{\text{Qa}} \cdot 24 / 1000,$$

где $[\text{NaCl}]$ — концентрация анионов хлора, удаляемого при частичном обессоливании в пересчете на NaCl , мг-экв/л.

Избыток едкого натра, сбрасываемого за одну регенерацию фильтра, кг, определится из уравнения

$$[\text{NaOH}] = (q_{\text{NaOH}} - 40,0) f H_{\text{св}} E_{\text{р}}^{\text{а}} / 1000,$$

где q_{NaOH} — удельный расход NaOH , г/г-экв; 40,0 — теоретический удельный расход NaOH , г/г-экв; $E_{\text{р}}^{\text{а}}$ — рабочая обменная емкость анионита, г-экв/м³.

Сброс избытка NaOH в сутки определяется по формуле, т/сут:

$$[\text{NaOH}]_{\text{сут}} = [\text{NaOH}]_{\text{ан}} / 1000.$$

1.15.5. Содержание хлоридов и сульфатов натрия в продувочной воде котлов

Котловая вода в котлах низкого и среднего давления после необходимых стадий обработки воды в основном содержит легко растворимый катион натрия и анионы: OH^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , PO_4^{3-} ; анионы SiO_3^{2-} , NO_2^- и NO_3^- содержатся в питательной и котловой водах в небольших количествах и настоящим расчетом не учитываются.

Все катионы и анионы, поступающие в котел с химически очищенной водой, не претерпевают изменений с повышением давления, температуры и концентрации солей при испарении, кроме бикарбоната натрия.

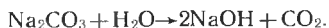
Бикарбонат натрия частично (около

60 %) разлагается в барботажном деаэраторе и окончательно в котле по уравнению



Углекислота при разложении NaHCO_3 (около 40 %) в котле уносится с паром.

Разложение Na_2CO_3 зависит от давления в котле (см. рис. 1.27) и протекает по реакции



Образующаяся углекислота также уносится с паром

Щелочность питательной воды определяется из уравнения в соответствии с расчетом ВПУ, г-экв/м³:

$$\text{Щ}_{\text{п.в}} = \text{Щ}_{\text{х}}\alpha_{\text{х}} + \text{Щ}_{\text{к}}\alpha_{\text{к}},$$

где $\text{Щ}_{\text{х}}$ — щелочность химически очищенной воды, г-экв/м³; $\text{Щ}_{\text{к}}$ — щелочность конденсата, г-экв/м³; $\alpha_{\text{х}}$ и $\alpha_{\text{к}}$ — соответственно доля химически очищенной воды и конденсата в питательной воде.

Учитывая, что щелочность конденсата относительно первого члена невелика, пользуемся упрощенной формулой состава питательной воды: $\text{Щ}_{\text{п.в}} \approx \text{Щ}_{\text{х}}\alpha_{\text{х}}$.

Принимая из расчета ВПУ состав химически очищенной воды, определяем по аналогии состав питательной воды:

$$\begin{aligned} [\text{Na}_2\text{SO}_4]_{\text{п.в}} &= [\text{Na}_2\text{SO}_4]_{\text{х}}\alpha_{\text{х}}; \\ [\text{NaCl}]_{\text{п.в}} &= [\text{NaCl}]_{\text{х}}\alpha_{\text{х}}. \end{aligned}$$

В котле происходит упаривание питательной воды до пределов, допустимых данной конструкцией и режимом работы котла; обычно завод-изготовитель назначает допустимое солесодержание (г/м³) котловой воды (последней ступени испарения) $S_{\text{к.в}}$ и питательной воды $S_{\text{п.в}}$.

Определив фактические значения $S_{\text{к.в}}$ и $S_{\text{п.в}}$, вычислим коэффициент упаривания котловой воды из уравнения $K_{\text{в}} = S_{\text{к.в}}/S_{\text{п.в}}$.

Количество веществ, сбрасываемых с продувочной водой котлов, определяется из уравнений, кг/ч,

$$[\text{Na}_2\text{CO}_3]_{\text{в}} = D_{\text{пр}} \cdot 53K_{\text{в}}\text{Щ}_{\text{п.в}}\alpha_{\text{с}}/1000;$$

$$[\text{NaOH}]_{\text{в}} = D_{\text{пр}} \cdot 40K_{\text{в}}\text{Щ}_{\text{п.в}}\alpha_{\text{е.н}}/1000;$$

$$[\text{Na}_2\text{SO}_4]_{\text{в}} = D_{\text{пр}} \cdot 71,0K_{\text{в}}[\text{Na}_2\text{SO}_4]_{\text{п.в}}/1000;$$

$$[\text{NaCl}]_{\text{в}} = D_{\text{пр}} \cdot 58,4K_{\text{в}}[\text{NaCl}]_{\text{п.в}}/1000,$$

где $D_{\text{пр}}$ — количество продувочной воды, сбрасываемой из котла, или непрерывная продувка котла, м³/ч, принимаемая из расчета ВПУ; $\alpha_{\text{с}}$ и $\alpha_{\text{е.н}}$ — соответственно доли соды и едкого натра в щелочности котловой воды в зависимости от давления в котле, определяются по рис. 1.27.

1.16. Коррекционные методы обработки воды

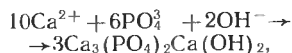
Энергетическое оборудование (паровые котлы и тепловые сети), кроме предварительной обработки воды на ВПУ нуждается в удалении из воды незначительных остаточных загрязнений и в поддержании определенного водно-химического режима путем дозирования в воду небольшого количества соответствующих реагентов, приводящих качество воды в соответствие с нормируемыми показателями.

К коррекционным способам обработки воды относятся фосфатирование, аминирование, нитратирование, сульфитирование, трилонирование, силикатирование и др.

1.16.1. Фосфатирование

В паровых котлах при высокой кратности испарения и сравнительно небольших водных объемах в котловой воде настолько возрастают концентрации солей, что даже при незначительном содержании кальциевых и магниевых соединений в питательной воде возникает опасность образования накипи на поверхности нагрева. Для предотвращения кальциевых накипей наряду с глубоким умягчением добавочной воды проводится коррекционная обработка котловой воды фосфатами. В присутствии фосфатов создаются условия, при которых кальций образует твердую фазу не на поверхности нагрева, а в толще котловой воды. Рыхлый неприкипающий шлам легко удаляется из котла с продувкой. Свойствами неприкипающего шлама обладает труднорастворимое комплексное соединение кальция — гидроксилapatит $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$. В случае его образования концентрация ионов кальция в котловой воде настолько снижается, что такие ионы-накипеобразователи, как SO_4^{2-} или SiO_3^{2-} , становятся не опасными, так как концентрация соединений CaSO_4 и CaSiO_3 не достигает насыщения.

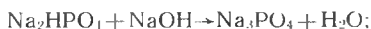
Реакцию образования гидроксилapatита в котловой воде можно представить уравнением



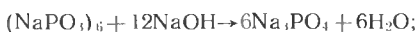
которое показывает, что для получения гидроксилapatита необходимо, чтобы в растворе были не только ионы PO_4^{3-} , но и OH^- , т. е. была щелочная среда, характеризующаяся определенным значением pH котловой воды.

В зависимости от щелочности обрабатываемой воды используются различными реагентами: Na_3PO_4 , Na_2HPO_4 , NaH_2PO_4 и др.

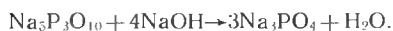
При дозировке кислых фосфатов в котловой воде протекают реакции нейтрализации: при вводе динатрий фосфата



при вводе гексаметафосфата



при вводе триполифосфата



Фосфатирование должно осуществляться для всех паровых котлов, работающих на давлении 2,4 МПа и выше, но может осуществляться и при более низком давлении.

При фосфатировании котловой воды необходимо поддерживать избыток свободных ионов PO_4^{3-} . Необходимый избыток ионов PO_4^{3-} является различным для котлов разных параметров; его значения приведены в табл. 1.22.

Т а б л и ц а 1.22. Необходимый избыток свободных ионов PO_4^{3-} и значения pH в котловой воде

Типы котлов и их сепарирующих устройств	PO_4^{3-} , мг/л	pH при $t=25^\circ\text{C}$
Для котлов без ступенчатого испарения	5—15	9,5—10
Для котлов со ступенчатым испарением и работающих на жидком топливе:		
в чистом отсеке	2—6	> 9,3
в солевом отсеке	< 30	< 10,7
Для котлов, работающих на других видах топлива, не более	50	—

В соответствии с инструкцией по фосфатированию котловой воды должно предусматриваться индивидуальное фосфатирование каждого котла с вводом раствора фосфата в барабан котла (обычно штуцер для ввода фосфата предусматривается заводом-изготовителем). Для каждого котла устанавливают расходный бак и два насоса-дозатора (один из них резервный). Подача фосфатного раствора насосами-дозаторами должна осуществляться пропорционально паропроизводительности котла.

Для котлов давлением до 1,4 МПа допускается установка расходного бака и двух насосов-дозаторов на группу котлов с обеспечением при этом примерно одинакового распределения раствора по отдельным котлам.

Первоначальная доза фосфатов A_1 , необходимая для создания в котловой воде надлежащей концентрации ионов PO_4^{3-} , кг, при-

ближенно определяется по формуле

$$A_1 = Vi/10C_{\text{ф}},$$

где V — водяной объем котла, м³; i — требуемый избыток фосфата в котловой воде, мг/л (г/м³), определяется по табл. 1.22; $C_{\text{ф}}$ — содержание PO_4^{3-} в применяемом техническом фосфате, %, принимается по анализу полученного продукта или ориентировочно

	PO_4^{3-}
Тринатрийфосфат	25
Динатрийфосфат	26,5
Мононатрийфосфат	61
Гексаметафосфат	93
Триполифосфат	77,5

Расход фосфатов A_2 , необходимый для поддержания избытка ионов PO_4^{3-} , определяется по формуле, кг/ч:

$$A_2 = Q[28,5Ж_{\text{п.в}}(1+r) + ri] \cdot 10C_{\text{ф}},$$

где Q — паропроизводительность котла, т/ч; $Ж_{\text{п.в}}$ — жесткость питательной воды, мг-экв/л; r — продувка котла; i — избыток PO_4^{3-} в котловой воде, солевых отсеках, мг/л (нормативные данные приведены в табл. 1.22); 28,5 — эквивалентная масса иона PO_4^{3-} при образовании гидроксилпатита $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$. Если в формулу вводится значение избытка для чистого отсека, то значение r следует принимать в качестве продувки чистого отсека в солевой.

Объем дозируемого в котел технического фосфата определяется по формуле, л/ч:

$$V_{\text{ф}} = Q[28,5Ж_{\text{п.в}}(1+r) + ri]1000C_{\text{р}}n_1n_2,$$

где $C_{\text{р}}=0,01 \div 0,05\%$ — концентрация дозируемого в котел раствора фосфата; $\rho_{\text{р}}$ — плотность 1–5 %-ного раствора фосфата, кг/л, принимается по табл. 11.6.1; n_1 — доля PO_4^{3-} в химически чистом продукте; n_2 — доля химически чистого фосфата в техническом продукте.

Для нейтрализации свободного едкого натра, если его содержание систематически превышает норму по относительной щелочности котловой воды, дозируется избыток фосфатов, который в пересчете на PO_4^{3-} определяется из уравнения, мг/л:

$$i_{\text{ш}} = 95(Ш_0 - 0,4Ж_{\text{п.в}})/r,$$

где 95 — ионная масса PO_4^{3-} ; 0,4 — коэффициент, учитывающий количество щелочи и фосфата, израсходованных на образование гидроксилпатита.

Для паровых котлов с давлением больше 2,4 МПа с локальными тепловыми нагрузками экранированных поверхностей нагрева более $12,6 \cdot 10^4 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ целесообразно применять вместо тринатрийфосфата гексаметафосфат,

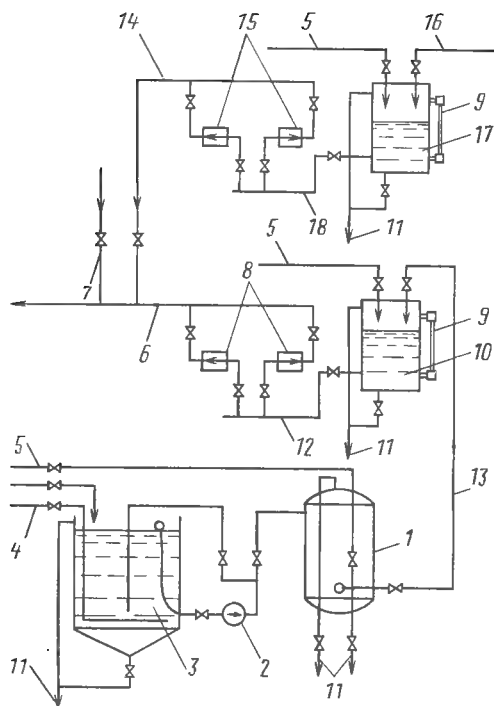


Рис. 1.28. Схема установки для приготовления и дозирования фосфатов и едкого натра: 1 — осветлительный фильтр; 2 — перекачивающий раствор фосфата; 3 — бак приготовления раствора фосфата; 4 — линия подачи пара; 5 — линия подачи воды; 6 — напорная линия раствора фосфатов от насосов-дозаторов; 7 — линия подачи питательной воды; 8, 15 — насосы-дозаторы раствора фосфата и едкого натра; 9 — водомерное стекло; 10 — расходный бак раствора фосфата; 11 — дренажная линия; 12 — всасывающая линия насосов-дозаторов раствора фосфата; 13, 16 — раствор соответственно фосфата и едкого натра; 14 — напорная линия насосов-дозаторов едкого натра; 17 — расходный бак раствора едкого натра; 18 — всасывающая линия насосов-дозаторов едкого натра

так как он способствует уменьшению образования медных накилей; аналогичными свойствами обладает и триполифосфат. При использовании кислых фосфатов (гексаметафосфата, триполифосфата и др.) допускается только индивидуальное фосфатирование.

Дозировка едкого натра в котловую воду производится по результатам определений в продувочной воде общей щелочности $Щ_0$ (мг-экв/л), избытка свободных ионов PO_4^{3-} (мг/л) и содержания $S_{к.в}$ (мг/л).

Введение NaOH должно обеспечивать в котловой воде соблюдение следующего со-

отношения:

$$0,8PO_4^{3-} \leq Щ_0 \cdot 40 \leq 0,84PO_4^{3-} + 0,2S_{к.в}.$$

Расчет дозировки едкого натра надо вести с учетом получения относительной щелочности, равной 10 %.

Таким образом, отклонения по щелочности, мг-экв/л, подсчитываются по формуле

$$\Delta Щ = 0,84PO_4^{3-} / 40 - Щ_0 + 0,1S_{к.в} / 40,$$

или

$$\Delta Щ = 0,021PO_4^{3-} - Щ_0 + 0,0025S_{к.в}.$$

Количество едкого натра, необходимое для осуществления фосфатно-щелочного режима, определяется по формуле

$$A = 4Qr \Delta Щ / C_{NaOH},$$

где A — расход едкого натра, кг/ч; r — непрерывная продувка котла в долях от паропроизводительности, доли единицы; C_{NaOH} — содержание NaOH в техническом продукте, %.

Дозируемый раствор NaOH готовится концентрацией 0,1—0,5 % и дозируется по линии фосфатирования совместно с фосфатами. Схема приготовления и дозировки раствора фосфата, а если необходимо и едкого натра, представлена на рис. 1.28.

Установка фосфатирования должна состоять из:

а) бака приготовления раствора (с коническим дном и плавающим заборным шлангом), перекачивающего насоса и осветлительного фильтра, расположенных на складе реагентов (изолированно от пылящих реагентов CaO);

б) расходных баков и двух насосов-дозаторов у каждого котла, расположенных в непосредственной близости к котлам.

Емкость бака для приготовления раствора фосфата должна обеспечить суточную потребность котельной. Часовая производительность перекачивающего насоса 2 должна быть не менее суточной потребности котельной в растворе фосфата. Этот насос устанавливается около бака приготовления раствора. Скорость фильтрования на фильтре осветления фосфатного раствора следует принимать равной 6 м/ч. Емкость расходных баков раствора фосфата должна быть не менее суточной потребности котла в растворе концентрацией 1—5 %.

Баки должны иметь крышки, переливные линии и водоуказательные стекла. Напорные трубопроводы (диаметром не менее 8 мм) должны иметь минимальную протяженность, трасса не должна иметь мест, удобных для скопления шлама и воздуха. Скорость раствора в трубопроводах должна быть не менее 1 м/с. Оборудование и трубопроводы

установки фосфатирования выполняются из углеродистой стали.

1.16.2. Аминирование

Аминирование воды применяется для предотвращения углекислотной коррозии оборудования и трубопроводов пароконденсатного тракта.

Связывание свободной углекислоты аммиаком с повышением pH воды до 8,4 – 8,5 протекает по реакции



а с повышением pH воды до 9–10 — по реакции



Дозировка аммиака может производиться в питательную или добавочную воду, а также в пароконденсатный тракт при значительной его протяженности. Этим методом можно пользоваться, если потребитель пара допускает наличие в нем аммиака, для котлов давлением 2,4 МПа и выше, а также для всех котлов с локальными тепловыми нагрузками более $12,6 \cdot 10 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ [$3 \cdot 10^6 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$].

Если содержание кислорода в паре не превышает 50 мкг/кг, то аммиачная коррозия медьсодержащих сплавов не возникает или протекает слабо.

При аминировании используются следующие реагенты:

1) водный раствор аммиака (аммиачная вода) марки Б с содержанием активного вещества в пересчете на NH_3 для I сорта 25 %, для II сорта 22 % (табл. П.1);

2) жидкий аммиак. Он переводится в газообразное состояние и затем растворяется в воде;

3) соли аммония: очищенный сульфат аммония, аммоний сернокислый для удобнений, хлористый аммоний (табл. П.1).

Применение аммонийных солей целесообразно только при введении их непосредственно в паровой котел, при этом за счет щелочности котловой воды происходит выделение из солей аммиака, поступающего в пар, а затем с конденсатом в питательную воду. Щелочность котловой воды снижается. Применение аммонийных солей удобно с точки зрения хранения (сухие реагенты поступают в мешках и другой таре), нет потерь NH_3 при хранении и дозировке (до деаэратора). Однако кислый характер солей требует кислотостойких покрытий аппаратов и трубопроводов для приготовления и дозирования растворов.

В небольших установках проще использовать для аминирования аммиачную воду

25 %-ный водный раствор аммиака, 1 мл которого содержит 233 мг NH_3 . Концентрацию NH_3 в питательной воде следует принимать не более 3 мг/л, так как большее содержание NH_3 (учитывая возможные подсосы кислорода) может вызвать коррозию латунных трубок подогревателей, латунной арматуры и пр.

Для связывания углекислоты в бикарбонат необходимо расходовать аммиака 0,4 мг NH_3 на 1 мг CO_2 , т. е. для связывания углекислоты потребуется раствора аммиака, л/ч,

$$V = 0,4\text{CO}_2 + Q/1000c_p n_1 n_2,$$

где 0,4 — доза NH_3 , необходимая для связывания 1 мг CO_2 , мг; CO_2 — концентрация углекислоты в паре, мг/кг; Q — паропроизводительность котла, т/ч; c — концентрация дозируемого раствора; $c = 0,01 - 0,05$; n_1 — доля NH_3 в NH_4OH ; n_2 — доля NH_4OH в техническом продукте (аммиачной воде); ρ_p — плотность раствора, кг/л.

Установка для дозирования аммиачной воды состоит из бака, в котором хранится концентрированный раствор, перекачивающего насоса, расходного бака, в котором готовится раствор нужной концентрации, насосов-дозаторов, подающих раствор пропорционально паропроизводительности котельной.

При использовании солей аммония приготовление и подача дозируемых растворов производятся по такой же схеме, как и при фосфатировании, но применяется оборудование в кислотозащитном исполнении. При необходимости ввода одновременно фосфата и аммиака их можно вводить совместно, в виде смешанного раствора, используя одно и то же оборудование.

1.16.3. Нитратирование

Нитратирование питательной или добавочной воды осуществляется для защиты от межкристаллитной — щелочной коррозии котельного металла.

Вводить раствор NaNO_3 (концентрацией 5–10 %) рекомендуется в химически обработанную воду, чтобы обеспечить в деаэраторе удаление кислорода, содержащегося в дозируемом растворе.

Расход 100 %-ного NaNO_3 определяется по формуле

$$d_{\text{NaNO}_3} = 16\text{Ш}_{\text{O}_2},$$

где d_{NaNO_3} — доза NaNO_3 , г/м³; Ш_{O_2} — щелочность обрабатываемой воды, мг-экв/л (г-экв/м³).

Расход раствора нитрата натрия V , л/ч, определяют из уравнения

$$V = 100d_{\text{NaNO}_3} Q/1000\rho_p,$$

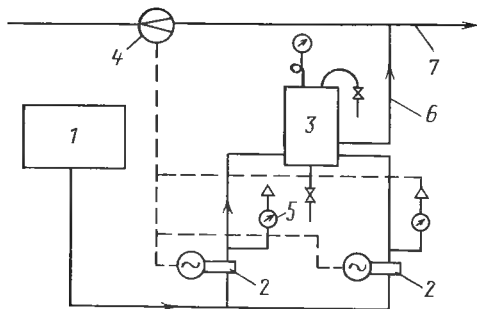


Рис. 1.29. Схема дозирования реагентов насосами-дозаторами:

1 - расходный бак раствора реагента; 2 - насос-дозатор типа НД; 3 - воздушный колпак; 4 - расходомерная шайба для дозирования реагента пропорционально расходу обрабатываемой воды; 5 - электроконтактный манометр; 6 - дозируемый раствор реагента; 7 - химически очищенная или питательная вода

где Q — расход химически обработанной воды, $\text{м}^3/\text{ч}$; $p = 5 \div 10\%$ — концентрация NaNO_3 в дозируемом растворе; ρ_p — плотность раствора NaNO_3 , $\text{г}/\text{см}^3$.

Готовить раствор нитрата натрия можно так же, как и фосфатов, и при необходимости следует совмещать с дозировкой фосфатов.

Схема подачи реагентов насосами-дозаторами при коррекционной обработке воды показана на рис. 1.29

1.16.4. Сульфитирование

Сульфитирование предусматривается для связывания остаточного кислорода и для защиты котельного металла от нитритной коррозии. Сульфитирование в целях обескислороживания в настоящее время имеет очень ограниченное применение.

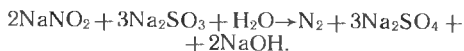
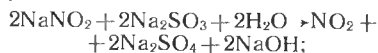
Расход сульфита для связывания кислорода определяется из уравнения, $\text{г}/\text{м}^3$

$$A = aC_{O_2}c_c + k,$$

где a — количество сульфита, необходимое для связывания 1 г кислорода, г; для безводного реагента эта величина равна 8 г, а для кристаллического сульфита ($\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 16 г; c_c — коэффициент, учитывающий содержание сульфита натрия в техническом продукте; $k = 3 \div 4 \text{ г}/\text{м}^3$ — необходимый избыток сульфита; C_{O_2} — концентрация кислорода в питательной воде, $\text{мг}/\text{л}$ ($\text{г}/\text{м}^3$).

Для котлов давлением 4 МПа предусматривается сульфитирование для защиты от нитритной коррозии при содержании в питательной воде нитритов (в пересчете на NO_2^-) более 20 $\text{мг}/\text{л}$.

Взаимодействие нитритов с сульфитом натрия протекает по реакции



Необходимая доза безводного сульфита натрия определяется из уравнения, $\text{мг}/\text{л}$:

$$[\text{Na}_2\text{SO}_3] = 8c_1 + 3,5c_2 + 2,$$

где 8 — теоретический расход безводного сульфита на 1 мг кислорода, мг; c_1 — концентрация кислорода в питательной воде, $\text{мг}/\text{л}$; 3,5 — теоретический расход безводного сульфита на 1 мг NO_2 ; c_2 — концентрация нитритов в питательной воде в пересчете на NO_2 , $\text{мг}/\text{л}$.

Расход раствора сульфита определяется из уравнения, л/ч:

$$V = [\text{Na}_2\text{SO}_3] Q / 1000 c_p \rho_p,$$

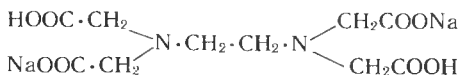
где Q — расход обрабатываемой воды, $\text{м}^3/\text{ч}$; $c_p = 2 \div 10\%$ — концентрация раствора; ρ_p — плотность раствора.

Сульфит вводится в питательную воду после деаэратора насосами-дозаторами или шайбовыми дозаторами. В сухом виде сульфит почти не поглощает кислорода, однако при приготовлении и хранении раствора должны быть приняты меры по изоляции его от воздуха. Для растворения сульфита используется герметизированный бачок, который перед подачей воды на растворение должен продуваться паром.

1.16.5. Трилонирование

Трилонирование питательной воды может предусматриваться для предотвращения накипобразования любого вида. Оно может заменять фосфатирование, как более эффективный метод, однако широкое его применение ограничивается высокой стоимостью реагента (цена трилона Б 1720 руб/т).

Суть метода заключается в том, что трилон Б — двухзамещенная натриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА)



образует растворимые комплексные соединения с кальцием, магнием, железом, медью и другими накипобразователями.

Для полного связывания жесткости и продуктов коррозии расход трилона Б на 1 мг-экв жесткости составляет 168, на 1 мг Fe — 6, на 1 мг Cu — 2,67 мг.

Объем раствора трилона Б, л/ч, опреде-

ляется из уравнения

$$V = [\text{Трилон Б}] Q / 1000 c p_{\text{р.т.}} n,$$

где [трилон Б] — доза трилона Б, обычно принимается равной 1 мг/л; Q — расход питательной воды, м³/ч; $c = 0,005 \div 0,01$ — концентрация трилона Б в дозируемом растворе; $p_{\text{р.т.}} = 0,5 \div 1$ %-ный раствор трилона Б, принимается 1 г/см³; n — содержание химически чистого продукта в техническом (около 90 %).

Для котлов давлением 4 МПа трилонирование применяется в целях эксплуатационной химической очистки котла «на ходу».

В этом случае трилонирование осуществляется перед остановкой котла на ремонт в течение 10–15 сут.

Раствор трилона Б должен вводиться в каждый котел (раздельно в чистый и солевой отсеки).

Установка трилонирования должна состоять из растворного бака ($V = 1,5 \div 2$ м³), мерников ($V = 0,3 \div 0,5$ м³) и насосов-дозаторов. Растворение должно производиться питательной или добавочной водой с перемешиванием паром. Все оборудование должно быть в кислотостойком исполнении.

Важнейшие сведения о пуске, наладке, эксплуатации водоподготовительных установок

2.1. Персонал химических подразделений энергообъектов

Количество и квалификация персонала химических подразделений энергообъектов (паровых и водогрейных котельных, ТЭЦ, районных станций теплоснабжения (РТС), центральных тепловых пунктов (ЦТП) определяются производительностью ВПУ, сложностью обработки воды на них, параметрами теплоносителя (пара, воды), количеством аппаратов-агрегатов.

Условно энергообъекты можно разбить на следующие пять групп:

1. Районные станции теплоснабжения и центральные тепловые пункты (РТС, ЦТП) и группы их, где может осуществляться Na-катионирование воды, силикатная обработка, омагничивание и термическая деаэрация. На этих энергообъектах следует иметь одного лаборанта-аппаратчика, работающего в дневную смену и обслуживающего от четырех до шести близко расположенных (не более 1 км) РТС и ЦТП, а при числе объектов более 20—30 должен быть еще работающий в дневную смену старший лаборант, руководящий лаборантами-аппаратчиками, работающими в сменах.

2. Паровые и водогрейные котельные с чугунными или стальными котлами, вырабатывающими насыщенный пар с давлением до 0,07 МПа или воду с температурой до 115 °С при давлении до 0,6 МПа, где обработка воды ведется по схеме Na-катионирование — термическая деаэрация (при стальных котлах). Эти объекты обслуживаются при производительности до 20 м³/ч одним лаборантом-аппаратчиком в дневную смену; в вечернюю и ночную смены упрощенные анализы выполняются дежурными машинистами-операторами энергообъекта. Межпромысловый — межрегенерационный период каждого аппарата должен быть не менее 24—30 ч.

3. Паровые, водогрейные и теплоутилиза-

ционные котельные со стальными котлами, вырабатывающими насыщенный пар с давлением до 0,9 МПа или горячую воду с давлением до 1 МПа и температурой до 150 °С. Обработка воды ведется по схеме Na-катионирование — термическая деаэрация. При производительности ВПУ по химически обработанной воде более 50 м³/ч энергообъект обслуживается одним старшим лаборантом в дневную смену и четырьмя сменными лаборантами-аппаратчиками.

4. Паровые и теплоутилизационные котельные с давлением 1,3—2,4 МПа, вырабатывающие перегретый пар более 50 т/ч при обработке воды по схеме фильтрование — Na-катионирование — термическая деаэрация. Объект должен обслуживаться одним старшим лаборантом (в дневную смену), четырьмя сменными лаборантами и четырьмя сменными аппаратчиками.

5. Крупные котельные (ТЦ) и ТЭЦ с давлением до 4 (7) МПа и выработкой перегретого пара. Схемы обработки воды: предпочистка и Na-катионирование, H — Na-катионирование, частичное обессоливание, термическая деаэрация. Энергообъекты должны обслуживаться начальником химгруппы — инженером, двумя старшими дневными лаборантами, четырьмя сменными лаборантами и сменными аппаратчиками (от 4 до 12), а также ремонтным персоналом и персоналом, обслуживающим КИП.

2.2. Обучение персонала и проверка его знаний

Обучение химперсонала новых энергообъектов заключается для руководящего персонала (инженера, старшего лаборанта) в ознакомлении с технической литературой, директивными и ведомственными материалами (нормы, методические указания, эксплуата-

онные и противовазварийные циркуляры), с проектно-технической документацией по данному энергообъекту, с типовыми или рабочими инструкциями по аналогичным объектам (технологическими, аналитическими), а также материалами по технике безопасности и пожарной безопасности, с должностными инструкциями.

Руководящий персонал должен ознакомиться с работой аналогичных близкорасположенных энергообъектов или энергообъектов общей подчиненности.

Обучение дежурного персонала (лаборантов и аппаратчиков) осуществляется в следующем порядке:

а) прохождение техминимума по водоподготовке в объеме 100 ч, включая изучение общих основных сведений по водоподготовке и химконтролю, инструкций технологических и аналитических, по технике безопасности и пожарной безопасности, должностных;

б) сдача экзаменов по пройденному материалу;

в) дублирование на рабочем месте на данном или аналогичном энергообъекте (ВПУ);

г) повторная проверка знаний перед началом самостоятельной работы.

В дальнейшем проверка знаний проводится по правилам техники безопасности (правилам Котлонадзора и пожарной безопасности) 1 раз в год, по технологическим, аналитическим и должностным инструкциям, распорядку работы на объекте 1 раз в год согласно планам проверки знаний.

В случае нарушения персоналом установленных правил и инструкций в течение ближайшего месяца проводится внеочередная проверка знаний. При несдаче повторного экзамена лаборант или аппаратчик отстраняется от выполнения своих обязанностей или переводится на менее квалифицированную работу.

Начальник химгруппы должен иметь высшее химическое образование и стаж работы по специальности не менее трех лет.

Старшие лаборанты должны иметь среднетехническое химическое образование и стаж работы не менее трех лет. Лаборанты-аппаратчики должны иметь среднее образование (ПТУ или средняя школа).

Количество сменного персонала уточняется по местным условиям с учетом числа обслуживаемых аппаратов, периодичности проведения отдельных операций, колебаний производительности ВПУ и качества исходной воды, требований к надежности эксплуатации, наличия автоматических приборов для контроля работы оборудования, средств механизации трудоемких процессов и др.

Начальник химцеха (участка или группы) и старшие лаборанты должны приступить к работе не позднее чем за 2 мес до начала пуска новых ВПУ и энергообъектов, лаборанты-аппаратчики — не позднее чем за 1 мес.

2.3. Технадзор за монтажом и приемка из монтажа

Во время монтажа оборудования персонал ВПУ, как руководящий, так и рядовой, должен осуществлять технический надзор за монтажом и выполнением строительных работ для обеспечения требуемого качества: соответствия всех элементов сооружаемой установки проектным данным и общепринятым нормативам.

Допущенные или возможные отклонения от проекта должны согласовываться эксплуатацией, строительно-монтажной и проектной организациями.

В процессе технадзора за монтажом эксплуатационный или наладочный персонал совместно со строительно-монтажным персоналом составляют акты на «скрытые» работы (фундаменты, каналы, подземные резервуары и трубопроводы и т. п.), которые по окончании строительства-монтажа не смогут быть осмотрены приемной комиссией (без производства сложных и трудоемких работ). Законченное монтажом водоподготовительное оборудование принимается от монтажно-строительных организаций рабочей приемной комиссией, состоящей из представителей эксплуатации и строительно-монтажных организаций. В процессе приемки проверяется правильность монтажа и соответствие установленного оборудования проекту, отсутствие неплотностей-течей (открытое оборудование проверяется наливом, а напорное оборудование — под давлением, в 1,5 раза большим рабочего). Приемка ведется в соответствии с действующими техническими и санитарными нормами.

По окончании приемки рабочей комиссией составляется приемочный акт с указанием имеющихся монтажных, строительных или конструктивных недостатков оборудования, мер и сроков для их устранения, с общей оценкой выполненных работ и констатацией возможности и сроков пуска установки (оборудования) в эксплуатацию.

К акту строительно-монтажные организации прилагают всю имеющуюся у них техническую документацию: технорабочий проект, паспорта и чертежи оборудования, строительно-монтажные чертежи и схемы, акты испытаний, акты на приемку «скрытых» работ и др. Вся техническая документация должна храниться в технической отделе энергообъекта.

В период проведения технадзора за монтажом оборудования, подготовки к пуску, самого пуска, наладки и освоения оборудования руководящим персоналом химслужб или наладочной организацией должна составляться (подбираться) техническая документация, не только характеризующая энергообъект и ВПУ, но и дающая возможность наметить программу повышения квалификации персонала, рационализации эксплуатации, повышения надежности и безопасности оборудования, устранения недостатков и т. п. Составляются также временные производственные, аналитические и должностные инструкции, а также инструкции по технике безопасности и пожарной безопасности.

Перечень исходной технической документации и оперативных отчетных документов, которые должны вестись в химцехе или на ВПУ энергообъекта, приводится ниже.

2.4.1. Проектно-техническая документация

1. Технический проект, компоновочные чертежи и схемы установок по обработке воды, конденсата и сточных вод, химлаборатории, установок по отбору и подготовке проб воды (пара).

2. Технические документы: заводские паспорта на установочное водоподготовительное оборудование, механизмы и приборы, а также на фильтрующие материалы — иониты.

3. Сборники инструкций:
по пуску и эксплуатации ВПУ и отдельных аппаратов с режимными картами по ведению водно-химического режима (ВХР) всего энергообъекта;

по организации химического контроля за работой водоподготовки, оснащению автоматическими контрольно-измерительными приборами, методикам выполнения анализов при контроле за качеством воды, масел, топлива, газов и очаговых остатков;

положение о химцехе (химводоочистке) и должностные инструкции для эксплуатационного и ремонтного персонала;

по технике безопасности;
по пожарной безопасности.

4. Годовые заявки на дополнительное оборудование, приборы, запасные части и инструменты, технические реагенты, лабораторную посуду, реактивы и др.

5. Штаты химцеха с характеристиками обслуживающего персонала.

6. Акты приемки оборудования ВПУ при-

емной комиссией, в том числе и на «скрытые» работы.

7. Технический отчет по пуску и наладке ВПУ и энергообъекта.

2.4.2. Оперативно-техническая документация

1. Журналы периодических анализов на ВПУ и при контроле ВХР воды: исходной, химически обработанной, питательной, котловой, конденсата пара и других конденсатов, охлаждающей (циркуляционной), подпиточной, сетевой, горячего водоснабжения.

2. Журналы по топливу (тонкость помола твердого топлива, калорийность твердого, жидкого и газообразного топлива, очаговые остатки, уходящие газы) и маслам (свежие и отработанные: турбинное, трансформаторное, смазочные и др.).

3. Журналы по анализам отложений наружных и внутренних с поверхностей нагрева и из трубопроводов.

4. Журналы по учету состояния внутренней и внешней поверхности теплоэнергетического оборудования с точки зрения коррозии, накипи и отложений растворимых солей. Акты, записи результатов осмотров, при которых отмечаются:

вырезка-вставка контрольных участков, установка-выемка индикаторов накипи и коррозии, даты отбора проб отложений, определение физических свойств и химического состава отложений.

5. Журналы по проведению водных, щелочных и кислотных промывок оборудования от отложений накипи, шлама, продуктов коррозии.

6. Журнал учета поступления лабораторной посуды, всех реактивов, с выделением особенно токсичных, этилового спирта и других растворителей и расходования токсичных веществ, приготовленных растворов, особенно спиртовых.

7. Схемы отбора проб на ВПУ и энергообъекте, таблица по объему контроля.

8. Положение о химцехе (химучастке) и лаборатории.

2.4.3. Техническая отчетность и документация по текущей работе ВПУ и ВХР энергообъекта

1. Суточные ведомости по контролю работы ВПУ и ВХР, включая расходы реагентов, производительность всей установки и отдельных аппаратов, качество исходной, предпочищенной, химически обработанной, деаэрированной, питательной, котловой воды, пара, конденсата, охлаждающей воды, концентрата испарителей паропреобразователей, сбросных вод и др.

В суточных ведомостях должны отмечаться отклонения от нормального режима работы, сдача и приемка смен.

2. При малом объеме работы вместо ведомостей ведутся общие журналы, а именно:

журнал для текущей записи всех неполадок, недостатков, поломок оборудования в целях их устранения;

журнал учета поступления и расходования технических реагентов.

3. Схема ВПУ с указанием номеров всего оборудования, номеров приборов и запорных органов.

4. Схемы отбора проб по ВПУ и энергообъекту.

5. Режимные карты на каждую самостоятельную ВПУ и отдельные аппараты.

6. Сборники инструкций — эксплуатационных, должностных противоаварийных, правил техники безопасности (ПТБ) и противопожарные (ППБ) — должны находиться на рабочих местах, у начальника смены и старшего аппаратчика.

2.4.4. Документация по обучению и проверке знаний персонала

1. Программы, графики и журналы по проверке знаний персоналом правил технической эксплуатации электростанций и сетей [42]; правил технической эксплуатации ВПУ и ведения ВХР; Правил Госгортехнадзора [41]; эксплуатационных инструкций, схем и устройств для отбора проб, объема и методик определений, должностных инструкций; правил техники безопасности и пожарной безопасности.

2. Программы и графики проведения с персоналом ВПУ технической учебы по ПТЭ, ПТБ, ППБ и инструкциям.

3. График обхода оборудования на крупных энергообъектах и их ВПУ и проведения противоаварийных тренировок.

2.4.5. Документация по состоянию и ремонту оборудования

1. Журналы учета состояния оборудования как ВПУ, так и оборудования энергообъекта, связанного с ВПУ и ВХР с точки зрения технологических процессов, соблюдения ПТБ и ППБ.

2. Журнал учета состояния всех контрольных аналитических приборов и средств автоматики, обеспечивающих нормальную работу ВПУ и ВХР энергообъекта. Журналы калибровки приборов.

3. Журнал состояния оборудования ВПУ, подведомственного Госгортехнадзору.

4. Журнал текущих заявок на оборудова-

ние, запасные части и инструменты по ВПУ.

5. Журнал текущих ремонтов оборудования ВПУ с указанием объема проведенных работ.

6. Журнал капитальных ремонтов оборудования ВПУ с указанием объема намеченных и выполненных работ.

При составлении перечня документации для конкретного энергообъекта его корректируют с учетом мощности энергообъекта, типа его котлов и турбоагрегатов, схемы и производительности ВПУ, автоматизации управления оборудованием и контроля, количества персонала и т. д.

2.5. Составление инструкций

В составленные перед пуском-наладкой временные производственные и другие инструкции по результатам первого периода эксплуатации и испытаний аппаратов и установок в целом вносятся необходимые изменения и дополнения. Уточненные инструкции перепутверждаются начальником или главным инженером объекта и становятся основным руководящим материалом для эксплуатационного персонала. При составлении технологических инструкций и инструкций по химконтролю должны использоваться руководящие материалы [10, 12—18, 20—22, 24, 26—28, 33, 34, 36—38].

Кроме того, должны использоваться:

1) паспорта и инструкции заводов-изготовителей на поставленное оборудование;

2) типовые инструкции Минэнерго, МЧМ СССР, Союзтехэнерго и др.;

3) литературные источники;

4) имеющиеся технологические инструкции других, уже работающих ВПУ и энергообъектов.

При составлении должностных инструкций должны использоваться официальные материалы Госкомитета по труду и заработной плате при СМ СССР и должностные инструкции для персонала существующих ВПУ и энергообъектов с учетом особенностей данной ВПУ и энергообъекта и существующего у них штатного расписания

2.5.1. Перечень технологических инструкций по водоподготовке, водному режиму энергообъектов и контролю за ними

1. Инструкция по работе водоподготовительной установки в целом. В ней приводится описание схемы, техническая характеристика оборудования, описание процессов обработки воды, устранение возможных нарушений режима обработки воды в процессе эксплуатации, порядок приемки из монтажа, пуска

и остановки оборудования, нормы качества воды на отдельных этапах ее обработки, объем контроля.

2. Инструкции по эксплуатации отдельных узлов и аппаратов водоподготовительных установок. Эти инструкции охватывают:

1) складское хозяйство (выгрузка — хранение — транспортировка);

2) реагентное хозяйство [приготовление, осветление и хранение растворов FeSO_4 ; $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$; NaCl , H_2SO_4 , NaOH и др., дозировка с помощью распределителей, сатураторов, мешалок и насосов-дозаторов];

3) насосное оборудование (насосы для перекачки воды и растворов реагентов);

4) осветлители-отстойники;

5) механические (осветлительные) фильтры;

6) резервуары для полуобработанной и обработанной воды;

7) катионитные фильтры I и II ступеней, в том числе H^+ , Na^+ — Na^+ , H^+ , H^+ — Na^+ катионитные фильтры;

8) анионитные фильтры I и II ступеней.

При малых размерах ВПУ и энергообъекта и небольшом числе отдельных аппаратов инструкции по каждому виду аппаратов не составляются. В несколько сокращенном виде должны входить в состав общей инструкции по эксплуатации ВПУ или ведению ВХР энергообъекта.

Так, например, в инструкции по предпочтительности можно объединить реагентное хозяйство, дозаторы, смесители, осветлители-отстойники, механические фильтры, оборудование для использования сточных вод, баки, насосы и др., включая указания по химконтролю.

По другим узлам следует иметь:

1) инструкции по катионитным фильтрам, включая солевое хозяйство, солепосредители-фильтры для солевого раствора, Na-катионитные фильтры I и II ступеней, баки, насосы и т. п.;

2) инструкции по сорбционным фильтрам с активированным углем, полуюком или пекковым коксом для удаления из воды (конденсата) масел и органических веществ;

3) инструкции для установки по сбору, нейтрализации, отстаиванию и вторичному использованию сбросных вод водоподготовок;

4) инструкции по эксплуатации водоподготовительных установок, находящихся непосредственно в котельной или ТЭС. Эти инструкции распространяются на:

1) подогреватели сетевой воды, пиковые водогрейные котлы и их ВХР;

2) установки для обработки добавочной и циркуляционной охлаждающей воды (подкисление, рекарбонизация, фосфатирование,

хлорирование, купоросование, магнитная обработка, использование доочищенных городских сточных вод);

3) установки для коррекционной обработки питательной воды путем ввода в нее реагентов [Na_3PO_4 ; $(\text{NaPO}_3)_n$; $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$; NaNO_3 ; N_2H_4 ; Na_2SO_3 ; NH_3 и др.];

4) деаэраторы питательной и подпиточной воды (котлов, парогенераторов и тепловых сетей);

5) ВХР работы испарителей и паропреобразователей;

6) ВХР работы паровых котлов станций и котельных;

7) ВХР работы теплоутилизационных парогенераторов;

8) использование тепла и воды продувки паровых котлов — парогенераторов, испарителей и паропреобразователей;

9) организацию и объем химического контроля водоподготовки и водного режима.

Кроме того, составляется инструкция по технике безопасности для персонала ВПУ, энергообъекта и химлаборатории.

В зависимости от схемы водообработки и имеющегося оборудования составляются только необходимые инструкции из вышеприведенного перечня или дополнительные.

Каждая инструкция должна иметь примерно следующее содержание:

1) назначение и описание установки, аппарата и его (их) частей; основные химические процессы, осуществляемые в аппарате или установке;

2) техническая характеристика аппарата с указанием его размеров (диаметр, высота, объем, площадь сечения, объем фильтрующего материала), числа аппаратов и их производительности, потери напора, периодичности и длительности промывок и восстановительных операций и т. д., расхода воды на собственные нужды, применяемых реагентов и материалов, противокоррозионной защиты;

3) подготовка к пуску (загрузка фильтрующих материалов, их промывка, заготовка растворов реагентов и т. д.);

4) пуск и эксплуатация, порядок и назначение отдельных операций;

5) нормальная эксплуатация аппарата (установки), показатели;

6) устранение возможных недостатков, ревизии-ремонты;

7) остановка аппарата;

8) контроль за работой аппарата;

9) нормы качества исходной и выдаваемой аппаратом воды.

К каждой инструкции должна быть приложена режимная карта-схема аппарата или установки с коммуникациями, с нумерованной

арматурой и таблицей переключений ее при различных операциях.

Инструкции по водно-химическому режиму работы паровых котлов, теплоутилизационных парогенераторов, испарителей и паропреобразователей должны содержать:

1) назначение и техническую характеристику аппарата и его сепарационных, питательных, продувочных и паропромывочных устройств;

2) нормы качества пара, питательной и котловой воды;

3) условия питания и продувки аппарата (непрерывность, периодичность, автоматическое регулирование и др.);

4) перечень мер, принимаемых при ухудшении качества пара, питательной и котловой воды;

5) указания по осмотрам внутрикотловых устройств и по их нормальному состоянию;

6) указания по оценке состояния аппарата, выявляемого при осмотре, с точки зрения ВХР (накипь, коррозия, отложения растворимых солей, трещины).

7) режимная карта, аналогичная приложенной к инструкции, должна быть вывешена в рамке под стеклом у каждого аппарата, группы аналогичных аппаратов или у самостоятельной установки;

8) образец акта осмотра аппарата при капитальном ремонте.

В инструкцию по организации и объему химконтроля должны входить:

1) перечень точек контроля, устройств для отбора, охлаждения и подготовки проб контролируемой воды и пара, периодичность отбора проб и определения в них показателей качества (в виде таблиц);

2) перечень применяемых методик контроля с указанием точности определений (к инструкции прилагаются методики выполнения анализов);

3) нормы качества всех видов воды по ВПУ и энергообъекту;

4) указания по оценке отклонений ВХР от норм.

2.5.2. Должностные инструкции персонала

Эти инструкции должны содержать:

1) требования к квалификации работника и стажу его работы по специальности;

2) объем выполняемых работ;

3) перечень инструкций и других материалов, знание которых необходимо работнику;

4) права и обязанности работников;

5) порядок подготовки, сдачи экзаменов, стажировки, периодичность проверки знаний.

Должностные инструкции составляются для начальника химцеха (химгруппы, хим-

участка) и его заместителя, начальника химводоочистки, начальника химлаборатории, старшего мастера водоочистки, мастера водоочистки, инженера химцеха, в том числе и инженера по КИПиА, начальника смены химцеха, старшего аппаратчика, аппаратчика, машиниста насосов, рабочего по загрузке реагентов, старшего лаборанта (техника), лаборанта, пробоотборщика, бригадира слесарей, слесаря, в том числе и слесаря-прибориста, газоэлектросварщика, слесаря по противокоррозионным покрытиям.

В зависимости от размеров ВПУ энергообъектов и имеющегося штатного расписания инструкции составляются только для имеющих штатных единиц, которые могут именоваться и несколько иначе.

2.6. Порядок пуска оборудования, составление графика предпусковых и пусковых работ

Во время приемки оборудования рабочей комиссией и проведения подготовительных работ должен быть составлен график пуска отдельных узлов и аппаратов и установки в целом (табл. 2.1).

К началу пуска готовят лишь первую очередь оборудования.

Как правило, в первую очередь выделяется такое количество оборудования, которое минимально необходимо для получения полностью обработанной воды. В ряде случаев, если в первую очередь включаются менее требовательные потребители к качеству очищенной воды (например, теплосеть), можно сначала включить только предпочистку и часть катионитных фильтров, а во вторую очередь все остальное оборудование. В первую очередь пускаемого оборудования должны входить часть складского и реагентного хозяйства, один блок предпочистки, два-три осветлительных, два-три Н- или Na-катионитных фильтра первой ступени и один фильтр второй ступени со всем необходимым для их эксплуатации вспомогательным оборудованием (насосами, резервуарами, баками-отстойниками-нейтрализаторами для сбросных вод и т. д.).

Вторая очередь оборудования пускается в работу после полного включения в работу первой очереди и достижения ее устойчивой работы.

Первая очередь оборудования включается в следующем порядке:

1) пуск необходимых насосов, резервуаров;

2) загрузка осветлительных фильтров и отмывка их необработанной водой;

Т а б л и ц а 2.1. Примерный график пуска

Наименование работ	Недели 1-го месяца				Недели 2 го месяца				
	1	2	3	4	1	2	3	4	
Ознакомление с проектно-технической документацией, обучение персонала									
Составление инструкций, режимных карт, ведомостей и другой документации									
Технадзор за монтажом, приемка скрытых работ									
Присоединение водопровода, канализации, подвод пара, электроэнергии, сжатого воздуха									
Очистка и промывка оборудования и трубопроводов, проверка гидравлической плотности, обкатка насосов									
Нанесение коррозионно-стойких покрытий, бетонировка днищ фильтров									
Заготовка инертных фильтрующих материалов (рассев, промывка), получение ионитов и сорбентов									
Проверка дренажных систем фильтров и загрузка их фильтрующим материалом									
Завершение всех строительно-монтажных работ по ВПУ и энергообъекту									
Получение реагентов, приготовление рабочих растворов, опробование дозаторов									
Опробование всего оборудования на воде, пуск предочистки с механическими фильтрами									
Пуск понитных фильтров, включая декарбонизаторы с подачей воды нетребовательным потребителям									
Подача воды в деаэраторы, наладка работы их, подача воды в котлы, предпусковое щелочение									
Опробование работы КИПиА и регуляторов работы ВПУ, организация отбора проб и ручной контроль									
Пробная эксплуатация ВПУ и энергообъекта, наладка работы и контроля, сдача и приемка объекта									

Примечания: 1) Сплошными жирными линиями на рабочем графике следует указывать меняться в каждом конкретном случае. 3) В практических условиях график следует составлять на

Подписи

наладочных работ по ВПУ и энергообъекту

[illegible]

назначенные сроки работ, пунктирными – фактические. 2) Перечень наименований работ может
весь пуск по дням.

3) включение в работу и опробование подогревателей для исходной воды;

4) получение реагентов, приготовление растворов, опробование дозирующего оборудования на воде и растворах;

5) пуск осветлителя, наладка стадии коагуляции — известкования при нагрузках 30–50 % расчетной до получения осветленной воды удовлетворительного качества (прозрачность > 10 см);

6) подача воды из осветлителя на осветлительные фильтры или непосредственно, или через промежуточные резервуары насосами с доведением прозрачности профильтрованной воды до 30–40 см по шрифту;

7) загрузка катионитных фильтров первой и второй ступеней катионитом. Отмывка катионита от посторонних примесей, мелочи и кислоты осветленной водой. Когда исходная вода имеет прозрачность более 30 см по шрифту, загрузку катионитных фильтров проводят одновременно с осветлительными и отмывают катионит необработанной водой; сульфоголь загружается в фильтры, частично заполненные водой, а все синтетические катиониты и аниониты — в фильтры, заполненные 10–12 %-ым раствором NaCl или NaOH;

8) после отмывки катионита водой, подаваемой снизу вверх, и удаления небольшого слоя грязи (~ 5 мм) с поверхности фильтрующего материала проводят регенерацию и окончательную отмывку фильтров от продуктов регенерации, после чего фильтры включают в работу и подают Na-катионированную воду потребителям, а H-катионированную на декарбонизатор и далее согласно технологической схеме на H- или Na-катионитные фильтры второй ступени или на анионитные фильтры.

В порядке технологической последовательности включают в работу и другие установки и аппараты для обработки воды, очистки конденсата, очистки и повторного использования сбросных вод.

После 72 ч устойчивой работы оборудования по полной схеме (с выдачей воды требуемого количества и качества) оно считается принятым от строителей-монтажников и включенным в работу. Не следует проводить пуск ВПУ в период года с минусовой температурой воздуха во избежание замерзания воды в трубопроводах. Непосредственно за пуском начинается период наладки.

При наладке добиваются снижения удельных расходов реагентов, теплоты и воды на собственные нужды до проектных значений и даже ниже, а также возможного повышения количества обрабатываемой воды и улучшения ее качества. Во время наладки заканчиваются работы по вторичному использованию сточных вод в цикле ВПУ или энергообъекта,

по сокращению количества сточных вод, сбрасываемых в водоемы, и обеспечению соответствия качества воды в водоеме, куда они сбрасываются, требованиям Госсанинспекции.

В зависимости от сложности схемы обработки воды продолжительность наладки колеблется от 1 до 6 мес (иногда и более).

В процессе наладки в составленные ранее временные технологические инструкции вносятся необходимые изменения.

Количество зачетных фильтроциклов при заданном оптимальном режиме их работы во время наладки (испытаний) колеблется от двух до пяти.

Наладочные работы проводятся силами эксплуатации, химвласть энергетических управлений Минэнерго СССР, а также силами специализированных ведомственных энергоналадочных организаций (Союзтехэнерго, Оргкомунэнерго, Энергочермет, Союзхимпром-энерго).

2.7. Важнейшие требования, предъявляемые к основному оборудованию и сооружению водоподготовительных установок

Строго горизонтальное расположение дренажно-распределительных и сборных устройств для воды и воздуха, кромок сборных желобов, воронок, дырчатых труб и т. п. Одинаковый диаметр (20–25 мм) и равномерное распределение отверстий по площади верхних дроссельных решеток осветлителей (скорость в отверстиях 0,3 м/с). Недопустимость протоков воды через неплотности более 5 %. Обеспечение скорости ввода воды в осветлитель 0,5–2 м/с. Ввод раствора коагулянта перед воздухоотделителем осветлителя, а ввод известкового молока на 100 мм выше обреза сопла, подводящего воду в осветлитель. Наличие не менее пяти пробоотборных трубок для контроля дозировки реагентов, уровня шлама, качества (прозрачности) воды, отводимой из шламоуплотнителя и осветлителя.

Верх воздухоотделителя должен быть на 1–1,5 м и более выше отверстий (кромок) сборного желоба, а низ — не менее чем на 1–1,5 м ниже этих отверстий.

Дроссельная решетка осветлителя должна быть на 300–500 мм ниже отверстий сборных желобов и не менее чем на 1000 мм ниже перекрытия осветлителя. В последнем должны иметься подъемные щиты над сборными желобами и коробами для возможности смыва шлама с дроссельной решетки. Внутренняя поверхность корпуса осветлителя и всех внутренних его устройств при работе без известкования должна быть защищена кислотостойки-

ми лаками или эмалями, а при работе с известкованием покрытия наносят лишь на верхнюю часть аппарата (желоба, дроссельные решетки и стенки до уровня на 500 мм ниже дроссельной решетки).

Проверяется горизонтальность сборно-распределительных систем фильтров (отклонение не более ± 5 мм). Выполняется слоистая бетонировка нижнего днища фильтров под дренажем (щебень — бетон — битумная промазка, верхний слой бетона — битумноль). Применяется бетон 1:4:8 на гидравлическом цементе марки 300. Равномерное распределение колпачков, отверстий, щелей по боковым ответвлениям трубчатой дренажно-распределительной системы или всей площади ложного дна фильтра. Равномерное распределение воды и воздуха по площади фильтра при расчетных расходах.

Противокоррозийная изоляция всей внутренней поверхности фильтров и трубопроводов при работе предочистки только с коагуляцией или обессоливанием воды и выполнение всех внутренних устройств фильтров из коррозионно-устойчивых материалов: нержавеющей стали, винипласта, полиэтилена (во всех случаях). При известковании допускается не покрывать лаками или эмалями боковые стенки и верхние днища осветлительных фильтров.

Наличие спускных и переливных труб, регуляторов уровня воды в открытых фильтрах (осветлителях) и резервуарах. Наличие расходомеров у всех типов фильтров и манометров до и после фильтрующего слоя в напорных фильтрах. Измерительные диафрагмы устанавливаются после осветлительных, анионитных и сорбционных фильтров и перед катионитными.

Прокладка трубопроводов сбоку или сзади фильтров (не над ними). Прокладка кислотопроводов на стенах ниже других трубопроводов, в стороне от главных проходов ВПУ. Наличие «хомутов» — цилиндров на всех фланцевых соединениях кислотопроводов. Прокладка трубопроводов внутри осветлителей и баков, установленных вне здания, или прокладка их в теплоизолированных коробах-каналах или в подфундаментных помещениях оборудования во избежание замерзания воды, особенно в трубах малого диаметра без постоянного потока воды.

Отвод сбросных вод от водоочистительного оборудования открытыми каналами (не трубами) при необходимости с кислотоупорной изоляцией или керамическими трубами (полутрубами).

Желательно наличие на ВПУ двух-трех систем открытых каналов:

1) для сбросных вод предочистки и неза-солненных нейтральных, жестких вод ионит-

ных фильтров, которые должны возвращаться или в осветлители, или после отстоя, на осветлительные фильтры:

2) для засоленной жесткой или кислой воды после катионитных фильтров.

Целесообразно сооружение подземных шламоотстойников-ловушек для случайно вынесенного из фильтров фильтрующего материала, отстоя шлама и нейтрализации кислых вод щелочными водами, известью или известковым шламом из осветлителей.

Наличие установки для механического рассева или гидросортировки фильтрующих материалов на три и более сортов по крупности. Наличие резервуаров для повторного использования отработанных регенерационных растворов.

Должны быть обеспечены:

автоматическое регулирование ввода осветлительных реагентов в обрабатываемую на предпочитке воду пропорционально ее расходу (точность дозирования $\pm 5\%$ среднего);

автоматическое регулирование подогрева воды перед ее обработкой в осветлителе с точностью $\pm 1^\circ\text{C}$, а при отсутствии осветлителя с точностью $\pm 3^\circ\text{C}$ при максимальном подогреве 45°C ;

невозможность произвольных резких набросов производительности осветлителей более $+5\%$ за 1 мин;

механизация приводов всех запорных органов $d_s > 100 \div 150$ мм или находящихся в труднодоступных местах;

невозможность попадания регенерационных растворов в обработанную воду;

наличие площадок у верхних лазов всех фильтров и у высокорасположенных (> 2 м) арматуры и КИП; тепловой изоляции трубопроводов и аппаратов с температурой воды 50°C и выше или холодной воды с $t < 15^\circ\text{C}$ (в холодное время года).

Окраска трубопроводов (или изоляции) соответственно транспортируемому веществу (пар, вода, растворы реагентов).

Наличие складов для фильтрующих и подстилочных материалов (на один наиболее крупный фильтр каждого типа: осветлительный, катионитный, анионитный, сорбентный с 20% запаса).

Наличие трубопроводов для гидротранспортировки фильтрующих материалов в фильтры и перегрузки фильтров.

Наличие устройств для механизированной разгрузки реагентов из железнодорожных вагонов и полувагонов, а также с автомашин. Механизированная транспортировка реагентов внутри реагентного хозяйства и ВПУ. Наличие кран-балок, монорельсов и тележек для транспортировки насосов, электродвигателей и крупной арматуры.

Наличие складов достаточной емкости: для мокрого или полусухого хранения, запаса соли желательны на 3—5 мес, запаса извести (в виде теста) не менее чем на 1 мес и др.

Более подробные требования к оборудованию и сооружениям водоподготовительных установок даны в соответствующей литературе [3—5, 14, 18, 20—22, 27].

Резервуары. Стальные резервуары большой емкости для воды устанавливаются, как правило, на нулевой отметке возле здания ВПУ на площадке из сухого утрамбованного песка. Они должны быть теплоизолированными и иметь коническую крышу со свисающими краями шириной 0,5—1 м для уменьшения попадания осадков на изоляцию. Все трубы, особенно малого диаметра, во избежание замерзания должны прокладываться внутри резервуаров, а между резервуаром и зданием — в закрытых утепленных каналах или в теплых коробах, галереях-переходах.

Подземные резервуары для сбора и отстоя шламовых вод, нейтрализаторы кислых сточных вод и других стоков должны сооружаться из литого железобетона с наружной гидроизоляцией и противокислотной внутренней изоляцией (нейтрализаторы, ячейки для раствора соли, коагулянта и т. д.).

Все открытые безнапорные резервуары должны быть оборудованы трубопроводами для подвода или отвода воды, переливной трубой с сигнальной трубкой, дренажной трубой для опорожнения резервуара, указателем уровня, воздушником, пропущенной внутрь резервуара трубкой для отбора проб на 1/3 высоты резервуара и на расстоянии 500—1000 мм от стенки, гильзой для термометра в случае необходимости измерения температуры воды, крышкой с лазом для проникновения внутрь резервуара (иногда лаз делается в нижней части боковой стенки), противокоррозионными покрытиями для резервуаров конденсата, химобработанной или питательной воды, а также и для других вод с $pH < 7$. Снаружи резервуары, установленные в помещении, должны быть окрашены масляной краской, когда температура воды 15—50 °С, а при более высокой температуре должны иметь тепловую изоляцию, при более низкой — водостойкую теплоизоляцию во избежание отпотевания поверхности. При высоте резервуара более 1,5 м снаружи и внутри его должны быть приварены скобы или иметься лестница. Аккумуляторные баки для деаэрированной воды, конденсата, должны иметь на дне «паук» — сборно-распределительную трубчатую систему для равномерного, спокойного подвода (отвода) воды по всей площади баков, подвод пара низкого давления для создания паровой подушки или должны быть снабжены «одеялом» из герме-

тика типа АГ с предохранительным устройством против захвата герметика водой (рис. 2.1).

Насосы. Насосы на ВПУ и энергообъектах применяются обычно центробежные. Исключения являются дозирующие плунжерные и мембранные насосы для растворов реагентов. Для агрессивных жидкостей применяются насосы марки Х из химически стойких сплавов.

КПД малых насосов 0,5—0,6, крупных 0,7—0,8.

Все насосы должны быть оборудованы задвижками или вентилями на всасывающем и на нагнетательном патрубках, мановакуумметром на всасывающем и манометром на нагнетательном патрубках.

Насосы с диаметром напорных патрубков ≥ 150 мм должны снабжаться обратным клапаном на напорной линии.

При заборе воды из резервуаров, приемных колодцев или водосточников, когда уровень воды ниже отметки расположения насоса, всасывающий трубопровод должен быть оборудован приемным клапаном, а для заполнения водой всасывающего трубопровода насоса к нему должны быть подведены или вода, или трубопровод от вакуум-насоса или эжектора. На корпусе насоса после первого рабочего колеса должен иметься краник-вентиль для выпуска воздуха при заполнении насоса водой перед включением его в работу.

Резервных насосов должно устанавливаться не менее одного с производительностью не менее 50% расчетной. Если напор, развиваемый одноступенчатым насосом, велик, его можно снизить, уменьшив диаметр рабочего колеса. Напор, развиваемый многоступенчатым насосом, может быть уменьшен путем уменьшения числа рабочих колес и направляющих аппаратов. Снижение развиваемого насосами напора позволяет уменьшить мощность электродвигателя и расход электроэнергии.

На крупных ВПУ могут устанавливаться компрессоры — воздухоудовки с аккумуляторами для получения сжатого воздуха, необходимого при взрыхлении фильтрующего материала осветлительных фильтров и для вытеснения кислоты из перекачивающих баков. В отдельных случаях для получения сжатого воздуха невысокого давления (0,15—0,2) МПа могут применяться паровоздушные или воздуховоздушные инжекторы.

Для слива кислоты и других жидких реагентов из железнодорожных цистерн в приемные баки ВПУ применяются вакуум-насосы или водяные (паровые) эжекторы, создающие разрежение в приемных баках или сливных сифонах.

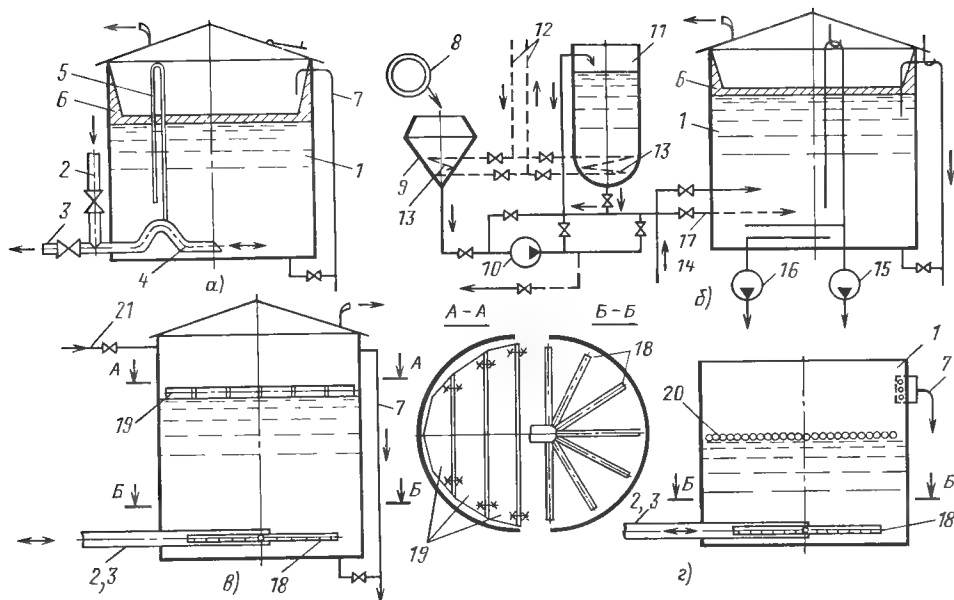


Рис. 2.1. Схема защиты деаэрированной воды — конденсата в резервуарах от поглощения кислорода:

а — одеяло из «герметика»; б — схема залива «герметика» в резервуар; в — схема резервуара с поплавком; г — схема резервуара с поплавком из шариков, 1 — резервуар; 2 — подвод деаэрированной воды-конденсата; 3 — отвод воды из бака; 4 — устройство для ввода-отвода воды; 5 — сифон для отключения насоса при понижении уровня воды ниже допустимого и предотвращения попадания герметика в забираемую воду; 6 — слой герметика на стенках ($\delta=5 \div 10$ мм) и на поверхности ($\delta=50 \div 100$ мм); 7 — перелив; 8 — бочка с герметиком; 9 — приемный бак-подогреватель; 10 — насос для перекачки разогретого герметика в запасной бак или резервуар; 11 — запасной бак для герметика; 12 — подвод (отвод) пара или горячей воды; 13 — мзеевик; 14 — подвод деаэрированной воды; 15 — подпиточный насос; 16 — насос для откачки воды и герметика из резервуара; 17 — ввод герметика в резервуар; 18 — радиальные трубы — «паук» с отверстиями $d=0,3 d$ шарика; 19 — составные части поплавка из пористых водостойких пластмасс; 20 — шарики из пластмассы $\gamma < 1$; 21 — подвод в резервуар пара или азота

Основные трубопроводы, как правило, прокладываются из стальных цельнотянутых или сварных труб диаметром более 50 мм со сварными или фланцевыми соединениями и арматурой. Трубопроводы низкого давления и малого диаметра (< 50 мм) могут выполняться из водогазопроводных труб с резьбовыми соединениями и арматурой на резьбе. Для коррозионно-агрессивных сред применяют трубопроводы из пластмассы, из нержавеющей стали или при больших диаметрах (≥ 150 мм) стальные, футерованные изнутри винилпластом, резиной, эмалью или покрытые противокоррозионными лаками. Для слабоагрессивных сред при давлениях до 0,3—0,4 МПа допускается применять резиновые шланги. Для крепкой серной кислоты (75 % и выше), а также для щелочи применяются только стальные сварные трубопроводы и арматура. Чугунную арматуру для агрессивных сред применять запрещается.

Для химически обработанной и питатель-

ной, недеаэрированной воды с температурой 40—45 °С должны применяться защищенные от коррозии трубопроводы, при температуре менее 20—25 °С — полистиленовые. Прямые длинные трубопроводы для пара и горячей воды при температуре стенки более 50 °С должны иметь температурные компенсаторы и тепловую изоляцию. Снаружи трубопроводы или их изоляция должны окрашиваться масляной краской в разные цвета (табл. 2.2), должны наноситься стрелки, указывающие направление движения среды. Трубопроводы холодной воды (температура менее 15 °С) во избежание отпотевания должны покрываться гидростойкой изоляцией.

Трубопроводы должны прокладываться с уклоном 1:100—1:1000 для возможности опорожнения и иметь надписи и условные обозначения. Фланцевые соединения трубопроводов, насосов и арматуры для крепких кислот и щелочей должны быть закрыты кожухами. Арматура трубопроводов должна быть пронумеров-

Т а б л и ц а 2.2. Рекомендуемая окраска трубопроводов

Назначение трубопроводов	Условное обозначение	Основной цвет	Цвет кольца или полосы
Перегретый пар, свежий	ПП	Красный	Без колец
Насыщенный пар, свежий	ПН	»	Желтый
Отборный пар	ПО	»	Зеленый
Химически обработанная вода	ВХ	Зеленый	Белый
Конденсат	ВК	»	Синий
Питательная вода	ВП	»	Без колец
Дренаж и продувка	ВД	»	Красный
Техническая вода	ВТ	Черный	Без колец
Пожарно-питьевой водопровод	ВП	Оранжевый	То же
Осветленная вода	ВО	Зеленый	Черный

вана согласно общей схеме ВПУ или энерго-объекта. Надписи делаются или на бирках, или на самой арматуре.

Все смонтированные самотечные трубопроводы подвергаются проверке на плотность под наливом, а напорные — давлением, равным 1,5 рабочего. Трубопроводы пара и горячей воды с температурой более 120 °С при диаметре >76 мм подлежат обязательной инспекции Госгортехнадзора (Котлонадзора).

Трубопроводы для растворов реагентов окрашивают в различные цвета по усмотрению на месте, нанося на них также условные обозначения или надписи.

Т а б л и ц а 2.3. Нормативные запасы и виды хранения реагентов и фильтрующих материалов

Материал	Запас	Вид хранения
Инертные материалы (кварцевый песок, антрацит)	20 % загруженного и не менее, чем на один фильтр с 25%-ным запасом	В сухом виде в закрытом помещении
Подстилочные слои инертного материала	На один фильтр	То же
Иониты	20 % и не менее чем на один фильтр с 25%-ным запасом	В таре, в огнестойком отапливаемом складе при $t > 0^{\circ}\text{C}$
Кольца Рашига	20—30 % загруженного количества	В помещении, в таре
Известь	30 сут *	Лучше в гашеном виде при $t > 0^{\circ}\text{C}$
Коагулянт	30 сут *	В сухом виде или в виде раствора, иногда в таре
Соль поваренная	3—5 мес	Полусухое на открытых площадках или в отстойных ящиках в виде 25%-ного раствора
Серная кислота **	30 сут **	В цистернах или стальных баках крепостью 75—94 %
Едкий натр **	30 сут **	В жидком виде или в твердом, в барабанах
Фосфаты	30 сут *	В таре

* При наличии центрального склада реагентов допустимо снижение запаса до 15 сут при доставке автотранспортом. Объем складов при доставке реагентов железнодорожным транспортом должен обеспечить приемку одного 60-тонного вагона (платформы) при наличии на складе запаса реагентов на 30 сут.

* При химических промывках оборудования на 1 промывку с 25%-ным запасом.

2.8 Складское хозяйство

Склады фильтрующих материалов и реагентов ВПУ должны быть расположены вблизи основного здания при обеспечении доставки реагентов железнодорожным, автомобильным или трубопроводным транспортом. Условия хранения реагентов и материалов приведены в табл. 2.3.

Разгрузка реагентов, прибывающих без тары (известь, поваренная соль, коагулянты), а также жидких (кислота, щелочь) должна быть полностью механизирована (нижняя выгрузка сухих реагентов из полувагонов на

открытые площадки и в ячейки).

Все железобетонные сооружения (ячейки, каналы, резервуары) должны быть выполнены из жирного (1:2:4) литого бетона на гидравлическом цементе высоких марок (не менее 300) с добавкой гидрофобных примесей (озокерит) и гидроизолированы, а для NaCl и кислотных реагентов — FeSO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ и др. — еще и покрыты противокислотной футеровкой. Отверстия в железобетоне должны делаться во время заливки бетона, в это же время закладываются закладные детали.

Пробивка отверстий в стенках железобетонных резервуаров после их изготовления запрещается. Плотность железобетонных, особенно заглубленных ячеек и резервуаров проверяется в процессе монтажа по убыли налитой в них воды.

Убыль воды из литых железобетонных резервуаров через 28 сут после их изготовления (твердения) не должна превышать 5 л/сут на 1 м^2 смачиваемой поверхности дна и стенок, а в теплых помещениях допускается только «потение» наружной поверхности стенок без соединения отдельных капель в общие струйки.

Для повышения гидравлической плотности железобетона в бетонный раствор вводят озокерит, а также прибегают к кольматации — поочередной пропитке стенок и дна резервуара растворами хлористого кальция и силиката натрия в целях заполнения пор в бетоне силикатом кальция.

Реагентное хозяйство располагается обычно вместе со складами реагентов или вблизи них и предназначено для приготовления рабочих растворов, кроме тех случаев, когда рабочие растворы H_2SO_4 , NaOH , NaCl готовятся в трубопроводах перед фильтрами путем разбавления концентрированных растворов транспортирующей водой.

Обычно в состав реагентного хозяйства входят:

транспортеры для извести (скреперы, тельферы с грейферными ковшами), контейнеры для доставки и хранения, кран-балки или монорельсы с тельферами; при доставке известкового молока — цистерны, трубопроводы;

известогасильные аппараты (типа МИ-КА) с ловушками для недопада и коробками-контейнерами для вывоза его;

резервуары для хранения гашеной извести в виде теста или молока (для молока — с подводом сжатого воздуха для перемешивания);

циркуляционные известковые мешалки (две-три), рассчитанные на работу каждой мешалки не менее 6 - 8 ч;

циркуляционные насосы для известкового молока;

дозировочные насосы для известкового молока или дозаторы других типов, например краны с приводом от КДУ и электронным регулятором;

циркуляционные мешалки для легкорастворимых реагентов (щелочи, фосфаты и др.);

железобетонные ячейки и отстойники для растворения поваренной соли и полного осветления растворов;

мерники для растворов легкорастворимых реагентов;

фильтры для осветления растворов легкорастворимых реагентов;

перекачивающие и дозирующие насосы и дозаторы других типов для легкорастворимых реагентов;

устройства (эжекторы, насосы) для удаления осадков из ячеек после растворения реагентов.

Основная задача пуска и наладки реагентного хозяйства — получить рабочие растворы постоянной и нужной концентрации и обеспечить устойчивую работу дозирующих устройств.

Обычные концентрации рабочих растворов: CaO — $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 1000 - 2000 мг-экв/л, FeSO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, NaOH , Na_2CO_3 и $n\text{Na}_2\text{O}m\text{SiO}_2$ 4 - 5 %.

Ячейки для соли должны дополнительно гидроизолироваться или защищаться слоем битума марки 80—100 толщиной 50 - 70 мм с дощатой обшивкой во избежание повреждений слоя битума.

Пропускаемые через стенки и дно солевых ячеек штуцера должны быть изготовлены из нержавеющей стали и закладываться в стенки при заливке бетона. Железобетонные ячейки, предназначенные для отстоя (осветления раствора соли) должны иметь пирамидальное или коническое дно для накопления и уплотнения осадка, а также «плавающий всас» для забора осветленного раствора с устройством для предотвращения захвата пены. Ячейки для извести должны иметь уклон дна 1:10 в сторону удаления осадка.

2.9. Подготовка к пуску

К подготовительным работам по пуску вновь смонтированной водоподготовительной установки относятся следующие мероприятия.

Подготовка и обучение эксплуатационного персонала. Обучение проводится по временным технологическим инструкциям и инструкции по химконтролю (см. выше), по правилам технической эксплуатации и техники безопасности. Изучаются также должностные инструкции.

Комплекты всех инструкций (временных) должны быть переданы на рабочие места аппаратчиков и лаборантов до начала пусковых работ, а режимные карты, нормы качества воды, объем контроля должны быть оформлены в виде таблиц. Схемы установок и отдельных аппаратов прилагаются к инструкциям, и, кроме того, должны быть вывешены на стенах экспресс- и дневной химлабораторий, а также на рабочих местах аппаратчиков. По окончании обучения и стажировки обучавшиеся сдают экзамены комиссии, назначенной руководством энергообъекта, после чего принимают участие в приемке оборудования, его освоении и пуске, а также в нормальной эксплуатации.

Заготовка фильтрующих материалов. Иониты и сорбенты поставляются в готовом виде в соответствующей таре.

Инертные фильтрующие материалы (кварцевый песок, антрацит, керамзит, гравий, пековый кокс, полукокс), если они не поставлены в готовом виде, должны быть рассеяны и промыты от глины и мелочи. Их характеристика приведена в табл. 2.3а.

Для рассева и промывки материала, как нового, так и уже эксплуатирующегося, на ВПУ должны иметься сита, просеивочные машины или, лучше, гидросортировки. Последние более целесообразны, так как не требуют сушилки материала и при сортировке материала не пылят.

Бетонирование днищ и дренажно-распределительных систем фильтров. Необходимо не допускать заливки днищ монолитным бетоном. Следует низ днища заполнять щебнем и сверху класть два слоя бетона с битумной прослойкой между ними. Толщина каждого слоя бетона не более 100 мм. Поверхность бетона должна быть возможно ближе к отверстиям дренажа. В катионитных и анионитных фильтрах поверхность бетона покрывается кислотостойким материалом — битуминолем.

При производстве противокоррозионных покрытий оборудования проводится проверка его плотности мегаомметром или специальным индикатором. В соответствии с временными технологическими инструкциями по установленному графику очередности пуска аппаратов проводятся следующие мероприятия:

Загрузка фильтрующих материалов в осветлительные и в На-катионитные фильтры, промывка их в фильтрах, удаление мелочи и грубодисперсных примесей с поверхности слоя;

загрузка декарбонизаторов кольцами Рашига (не допуская их боя) и их промывка водой;

опробование насосов, вентиляторов и других вращающихся механизмов и подъемных устройств;

заготовка реагентов, включая операции по гашению извести, приготовлению известко-

Таблица 2.3а. Характеристика фильтрующих материалов

Параметр	Кварцевый песок	Антрацит, керамзит	Пековый кокс
Диаметр зерен, мм	0,5—1,5	1- 2	1—2
Коэффициент неоднородности, не более	2—2,2	2	2
Пористость слоя, %, не менее	35	35	35
Насыпная масса, г/см ³	1,6—1,8	0,9 1,1	0,9—1,1
Механическая прочность, %: измельчаемость, не более истираемость, не более		4 0,5	
Химическая стойкость, прирост, не более, мг/л: по сухому остатку по кремнекислоте SiO ₂ по перманганатной окисляемости		20 5 5	

вого молока, раствора коагулянта, соли и др.; опробование всего оборудования для приготовления и дозирования реагентов в обрабатываемую воду (баки, мешалки, насосы, удалители недопала, шлама и т. п.) сначала на воде, а затем на рабочих растворах.

Все работы ведутся в соответствии с временными инструкциями по установленному графику очередности пуска аппаратов.

10. Хлорирование. Хлорирование — наиболее доступный способ, применяется чаще всего для борьбы с биологическими обрастаниями водоводов, градирен и конденсаторов.

Хлорирование, как наиболее доступный способ, применяется чаще всего для борьбы с биологическими обрастаниями водоводов, градирен и конденсаторов.

В таблице указаны «ударные» дозы вводимого хлора для удаления уже развившихся обрастаний. При систематическом хлорировании дозы в 3—5 раз меньше.

Купоросование — замкнутых охлаждающих систем-водохранилищ: профилакти-

ческая доза Cu^{2+} 0,1—0,3 мг/л, во время «цветения» воды в водоемах 0,3—0,6 мг/л 2—3 раза за период «цветения». В сбрасываемой в общественные водоемы воде содержание Cu^{2+} не должно превышать 0,01 и 1 мг/л для хозяйственно-питьевых и рыбохозяйственных водоемов соответственно.

Подкисление карбонатная жесткость (щелочность) добавочной воды не ниже 0,5—1 мг-экв/л, циркуляционной — не ниже 1—1,5, но не выше 2—2,5 мг-экв/л (рис. 2.2).

Фосфатирование — содержание PO_4^{3-} в циркуляционной воде 1—2 мг/л. При фосфатировании могут применяться тринатрийфосфат Na_3PO_4 , динатрийфосфат Na_2HPO_4 , триполифосфат $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ или гексаметафосфат $(\text{NaPO}_3)_6$, а также более эффективные соли фосфоновых кислот: оксидилдендифосфоновая кислота (ОЭДФК) и др. (рис. 2.3).

Дополнительные нормативные данные: при продувке и отсутствии обработки воды

Таблица 2.4. Показатели хлорирования охлаждающей воды

Показатель	Вид обрастаний		
	Биологические или илесто-биологические в конденсаторах	Ракушечные	
		личиночные	взрослые
Температура, °С	20—30	< 20	< 30
Доза вводимого хлора, мг/л	До 5—10*	До 5—10*	До 5—20*
Содержание остаточного хлора в воде после конденсатора, мг/л	0,3—0,5	0,3—0,5	0,3—0,5
Продолжительность ввода хлора	30—60 мин	3—6 сут	1—2 сут
Периодичность ввода хлора	1—6 раз в сутки	*	*

* Периодичность и доза вводимого хлора в период активного развития обрастаний устанавливаются по обрастанию индикаторов (предметных стекол), устанавливаемых в потоке охлаждающей воды до и после конденсатора и извлекаемых «на ходу» без прекращения работы агрегата.

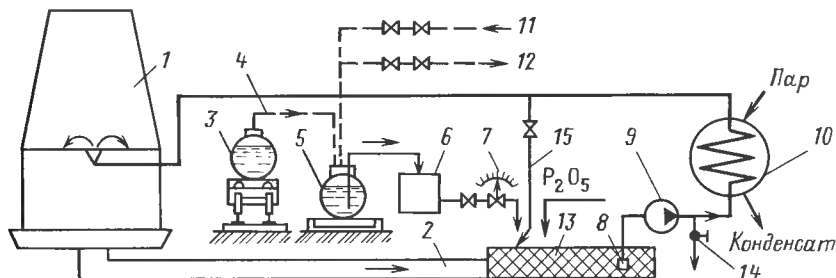


Рис. 2.2. Схема подкисления циркуляционной воды:

1 — градирня; 2 — канал; 3 — железнодорожная цистерна; 4 — сифонный слив; 5 — приемный резервуар для кислоты; 6 — рабочий бак; 7 — дозирующий кран; 8 — приемный колодец; 9 — циркуляционный насос; 10 — конденсатор; 11 — сжатый воздух; 12 — вакуум; 13 — кислотостойкое покрытие канала и приемного колодца; 14 — отбор проб; 15 — циркуляционная вода для ускорения разбавления и смешения воды с кислотой

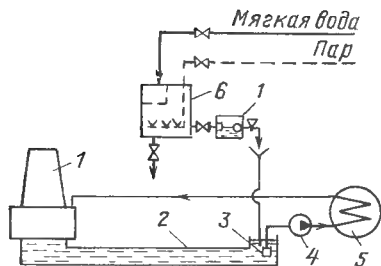


Рис. 2.3. Схема фосфатирования циркуляционной воды:

1 — градирня; 2 — канал; 3 — приемный колодец; 4 — циркуляционный насос; 5 — конденсатор; 6 — бак для растворения тринитрифосфата; 7 — дозирующий бачок

общая щелочность циркуляционной воды 2—3,5 мг-экв/л, щелочность по фенолфталеину постоянно отсутствует, максимум кратковременно не более 0,1 мг-экв/л.

При подкислении и продувке общая щелочность исходной воды составляет более 4—4,5 мг-экв/л, общая щелочность обработанной воды — минимум 0,5—1 мг-экв/л, общая щелочность циркуляционной воды — минимальная 1—1,5 мг-экв/л, нормальная 2—2,5 мг-экв/л, максимальная 3,5 мг-экв/л. Щелочность по фенолфталеину отсутствует, максимальная кратковременно не более 0,1 мг-экв/л.

При рекарбонизации и продувке общая щелочность циркуляционной воды равна 2—3,5 мг-экв/л, щелочность по фенолфталеину отсутствует. Содержание CO_2 в воде после рекарбонизации на 5—7 мг/л выше, чем в добавочной.

При фосфатировании и продувке или при подкислении, фосфатировании и продувке содержание фосфат-иона PO_4^{3-} 1—3 мг/л, общая щелочность — не более 5,5 мг-экв/л, при обработке ОЭДФК — до 7 мг-экв/л. Щелочность по фенолфталеину — не более 0,2 мг-экв/л в зависимости от щелочности добавочной воды.

При щелочности добавочной воды 3,5—4,5 мг-экв/л допустимая упариваемость по Cl^- циркуляционной воды составляет 1,1—1,3 раза, при 2—3,5 мг-экв/л — 1,3—1,5 раза и менее 2 мг-экв/л — 1,5—2,5 раза.

При дефиците добавочной воды приходится иногда работать с большими кратностями упаривания (1,5—2,5) даже при щелочности, большей 2—2,5 мг-экв/л, прибегая к эффективным способам предотвращения накипеобразования. Чем выше перманганатная окисляемость добавочной воды, тем меньше опасность образования отложений CaCO_3 , но тем больше опасность биологических обложений.

Качество охлаждающей воды по данным СЭВ:

Температура воды, °С	< 50
Взвешенные вещества в добавочной воде, мг/л	< 20
Запах, баллы	< 3
Масла, смолы и другие эфирорастворимые вещества, мг/л	< 20
Показатель pH	6,5—8,5
Солесодержание оборотной воды, мг/л	< 2000
Карбонатная жесткость добавочной воды, мг-экв/л	1,5—2,5
Хлориды Cl^- в оборотной воде, мг/л	< 350
Сульфаты SO_4^{2-} в оборотной воде, мг/л	< 500
Фосфаты PO_4^{3-} в оборотной воде, мг/л	< 4
Железо общее Fe в оборотной воде, мг/л	1—4
Азот общий N_2 , мг/л	< 10
Перманганатная окисляемость в добавочной воде, мг/л	< 20
БПК ₅ добавочной воды, мг/л	< 5

Дополнительные данные по зарубежным источникам: общая жесткость добавочной воды не нормируется, щелочность оборотной воды по фенолфталеину при фосфатировании составляет максимум 0,35 мг-экв/л, сульфатно-кальциевая жесткость CaSO_4 до 18—20 мг-экв/л, кремниевая кислота (SiO_2) — до 200 мг/л, свободная углекислота (CO_2): в добавочной воде — до 20 мг/л, в оборотной ≈ 3 мг/л, свободный хлор Cl_2 в воде после конденсатора — 0,5—1 мг/л.

Эффективность проводимой обработки воды контролируется по состоянию вырезанных образцов труб из конденсаторов и теплообменников или по состоянию индикаторотрубок, работающих в тех же условиях, но устанавливаемых и удаляемых без остановки агрегата по мере надобности (см. разд. 3, рис. 3.19).

2.11. Борьба с коррозией

Химическая коррозия стали под воздействием чистой горячей (> 400 — 450°C) воды или пара протекает по следующей суммарной реакции:



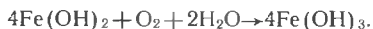
Примером химической коррозии является пароводяная коррозия пароперегревателей и парогенераторных труб под слоем отложений. Сюда же относится и язвенная — локальная коррозия под слоем окислов железа, протекающая по реакции



Электрохимическая коррозия металлов в водной среде наблюдается при наличии деполяризаторов: кислорода, ионов водорода и др. Электрохимическая коррозия сопровождается протеканием электрического тока между микрочастицами поверхности, имеющими различный химический состав и различные электрические потенциалы. Суммарная реакция коррозии железа с кислородной деполяризацией может быть записана так:



При достаточно большой концентрации кислорода и щелочной реакции двухвалентное закисное железо Fe^{2+} окисляется кислородом в трехвалентное — Fe^{3+} по формуле



Электрохимическая коррозия металлов с водородной деполяризацией протекает в растворах кислот, характеризующихся повышенной концентрацией ионов водорода. При наличии в воде растворенного диоксида углерода CO_2 образуются молекулы угольной кислоты H_2CO_3 , диссоциирующей на ионы H^+ и HCO_3^- . При одновременном содержании в воде O_2 и CO_2 коррозионный процесс идет преимущественно с кислородной деполяризацией. Когда в воде кислород отсутствует, но есть уголекислота, поставляющая в раствор ионы водорода, создаются условия для протекания коррозии с водородной деполяризацией.

Повышение температуры воды ускоряет коррозию, причем в закрытых системах, где невозможно удаление из воды CO_2 и O_2 , скорость коррозии возрастает с температурой, а в открытых системах скорость коррозии достигает максимума при 65—80 °С, а при дальнейшем повышении температуры снижается вследствие снижения растворимости O_2 и CO_2 с повышением температуры и их улетучивания.

Для снижения интенсивности уголекислотно-кислородной коррозии не следует без необходимости повышать температуру воды выше 20—25 °С, следует также учитывать, что при более низкой температуре (5—10 °С) усиливается отпотевание наружной поверхности труб и оборудования и усиливается наружная коррозия.

Продукты кислородной коррозии в значительном количестве оседают на месте, при уголекислотной коррозии продукты коррозии преимущественно уносятся водой и отлагаются в других частях тракта, где меньшие скорости.

К электрохимической коррозии относится также наружная гальваническая коррозия подземных неизолированных трубопроводов (водопроводов, канализации, газопроводов,

теплопроводов) во влажных грунтах, особенно усиливающаяся при близком расположении кабелей, рельсов железнодорожного транспорта и др. Этот вид коррозии не связан с качеством воды, находящейся внутри трубопроводов и аппаратов, и потому здесь не рассматривается.

На энергообъектах приходится встречаться и с другими, но более редкими видами коррозии, к ним относятся:

нитритная коррозия, поражающая парогенерирующие трубы паровых котлов при наличии в котловой воде иона NO_2^- . Для борьбы с нитритной коррозией путем превращения NO_2^- в безопасные соединения применяют сульфит натрия Na_2SO_3 и гидразин N_2H_4 ;

аммиачная коррозия, которой подвергаются медные сплавы, преимущественно латунные трубки конденсаторов и подогревателей. Аммиачная коррозия резко усиливается, когда наряду с NH_3 в среде, омывающей латунные трубки, содержится кислород в концентрации более 50 мкг/л O_2 ;

гальваническая коррозия в местах контакта воды и металлов с различными электрическими потенциалами, например Fe, Cu, Zn, омываемых водой с большой концентрацией ионов Cl^- и SO_4^{2-} . Для борьбы с гальванической коррозией применяют протекторную или катодную защиту, а также используют более стойкие медные сплавы (оловянистая и алюминиевая латунь, медно-никелевые и медно-железистые сплавы);

межкристаллитная коррозия стали — образование трещин между зернами металла, наблюдается в элементах котлов (заклепочные и вальцовочные соединения, днища барабанов, гибы труб), где имеются высокие механические напряжения, а также неплотности, в которых могут концентрироваться примеси котловой воды с достижением в сухом остатке едкого натра более 20 % при давлении в котле выше 1—1,3 МПа.

В табл. 2.5 и 2.6 приведены данные о стойкости материалов и коррозионной агрессивности нагретой водопроводной воды.

Мерами борьбы с коррозией являются удаление агрессивных примесей O_2 , CO_2 , NH_3 , NO_2^- , связывание их в безопасные соединения, применение коррозионно-стойких металлов и сплавов, органических материалов, неорганических Zn, Ni, Cr, органических покрытий, создание на поверхности металла временных защитных пленок, применение замедлителей коррозии металла (ингибиторов) в коррозионно-активных средах (кислотах).

Кроме того, для борьбы с коррозией должны применяться безопасные тепловые и гидравлические режимы работы оборудования, гальванические способы для борьбы

Т а б л и ц а 2.5. Шкала интенсивности коррозии

Принятая оценка стойкости			Оценка стойкости по пятибалльной шкале				Оценка стойкости по десятибалльной шкале ГОСТ-5272 50		
Группа стойкости	Балл	Скорость коррозии, мм/год	Группа стойкости	Балл	Скорость коррозии, мм/год	Потеря массы, г/(м ² ·ч)	Группа стойкости	Балл	Скорость коррозии, мм/год
Вполне стойкие	В	<0,1	—	—	—	—	Совершенно стойкие	1	<0,001
			Весьма стойкие	< 1	<0,1	0,1	Весьма стойкие	2	0,001 0,005
			Стойкие	2	0,1- 1,0	0,1—1,0	То же	3	0,005 0,01
							Стойкие	4	0,01—0,05
							»	5	0,05 0,1
Стойкие	Х	0,1—1	Сравнительно стойкие	3	1,0- 3,0	1,0—3,0	Пониженно-стойкие	6	0,1- 0,5
							То же	7	0,5—1,0
Мало-стойкие	О	1- -3	Мало-стойкие	4	3—10	3,0—10,0	Мало-стойкие	8	1,0 5,0
							»	9	5,0—10,0
Нестой-кие	Н	>3	Нестой-кие	5	>10	>10	Нестой-кие	10	>10,0

П р и м е ч а н и е. Скорость коррозии 1 мм/год эквивалентна потере массы 0,9 г/(м²·ч).

с электрохимической коррозией оборудования (конденсаторов) в высокоминерализованных водах и борьбы с наружной коррозией подземных трубопроводов особенно при влажных грунтах и наличии блуждающих токов.

Способы удаления основной массы агрессивных газов следующие:

аэрация для снижения содержания свободной углекислоты до 3—5 мг/л СО₂, при этом, однако, может возрасти содержание кислорода (до насыщения) и усилиться местная локальная (язвенная) кислородная коррозия;

известкование для полного удаления свободной углекислоты;

термическая деаэрация для практически

полного удаления кислорода (на 99 %) и свободной углекислоты;

химическое обескислороживание при помощи сульфита натрия для связывания следов растворенного кислорода (<0,1 мг/л) после термической деаэрации;

подщелачивание (NaOH) для связывания значительных количеств свободной углекислоты;

аминирование (NH₃) для связывания небольших количеств свободной углекислоты.

Для борьбы с межкристаллитной коррозией требуется:

обеспечить необходимую плотность соединений котельных элементов;

**Т а б л и ц а 2.6. Коррозионная агрессивность нагретых до 60—65 °С
водопроводных вод (по Р. П. Сазонову)**

Группа воды	Источник водоснабжения	Индекс насыщения $J = \text{pHф} - \text{pH}^*$	Содержание кислорода O_2 , мг/л	Содержание $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ мг/л	Коррозионная характеристика
I	Поверхностная	< -1	10—14	< 50	Сильноагрессивная
		≥ 0	10—14	> 50	
II	»	$-1 \cdot 0$	10—14	< 50	Агрессивная
III	Артезианская	> 0	2—5	> 50	
IV	Поверхностная	> 0	10—14	< 50	Слабоагрессивная
V	Артезианская	> 0	2—5	< 50	Неагрессивная

* pHф — фактическая величина водородного показателя, pH — расчетная величина водородного показателя при равновесном насыщении ее CO_2 при данной концентрации CO_3^{2-} и HCO_3^-

предотвращать попадания «холодной» ($t < t_{\text{кип}}$) воды на стенки барабанов;

соблюдать оптимальный режим растопок-остановок котлов;

вести контроль за качеством металла в соединениях котельных элементов, производить вырезку контрольных участков;

соблюдать установленные нормы качества котловой воды.

Для борьбы с пароводяной коррозией змеевиков пароперегревателей необходимо ликвидировать местные перегревы, касание труб факелом, газовые коридоры, где температура стенок выше средней расчетной. Необходимо обеспечивать отсутствие отложений в экранированных трубах, в зоне ядра факела, где наиболее высоки температуры и теплонапряженность металла и где под слоем отложений может протекать пароводяная коррозия (при $t > 450^\circ\text{C}$). Необходимо рассредоточивать горелки, чтобы укоротить факел и предотвратить «касание» факелом труб.

Для борьбы со «стояночной» коррозией паровых котлов во время пребывания их в резерве или ремонте необходимо проводить следующие мероприятия:

пребывание котла в горячем резерве под давлением более 0,1 МПа и температуре более 100°C ;

высушивание внутренней поверхности с установкой в барабаны котлов влагопоглотителей (CaCl_2 , CaO , SiO_2);

заполнение котла деаэрированной водой или консервирующим раствором (щелочные

растворы NH_3 2000—3000 мг/л, NaOH $\text{CaO} - \text{CaOH}_2$ 500—1000 мг/л, $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$ 1000—2000 мг/л, а также NaNO_3 10 000 мг/л).

В крайнем случае допускается заполнение котла до воздушника непроточной, недеаэрированной, технической, водопроводной или химически обработанной водой под давлением в верхней точке 2—3 м вод. ст.;

спуск из котла горячей ($\sim 80^\circ\text{C}$) воды и высушивание внутренней поверхности котла горячим воздухом или путем разжигания огня в топке ($t_{\text{ср}} = 100 \div 120^\circ\text{C}$);

создание в опорожненных котлах небольшого избыточного давления (100 мм вод. ст.) при помощи инертных сжатых газов (N_2 , NH_3);

создание на внутренней поверхности защитной пленки путем обработки котла перед остановкой раствором нитрита натрия или создание защитной ферросиликатной пленки при помощи раствора силиката натрия.

«Сухие» способы консервации обязательны при температурах воздуха в котельной ниже 0°C .

На рис. 2.4 приведены схемы «мокрой» консервации котлов.

Чугунные секционные котлы в консервации не нуждаются, если только на внутренней поверхности их сохранилась литейная корка или имеются отложения накипи.

Для борьбы с коррозией обратных конденсатопроводов следует:

предотвращать появление в конденсате

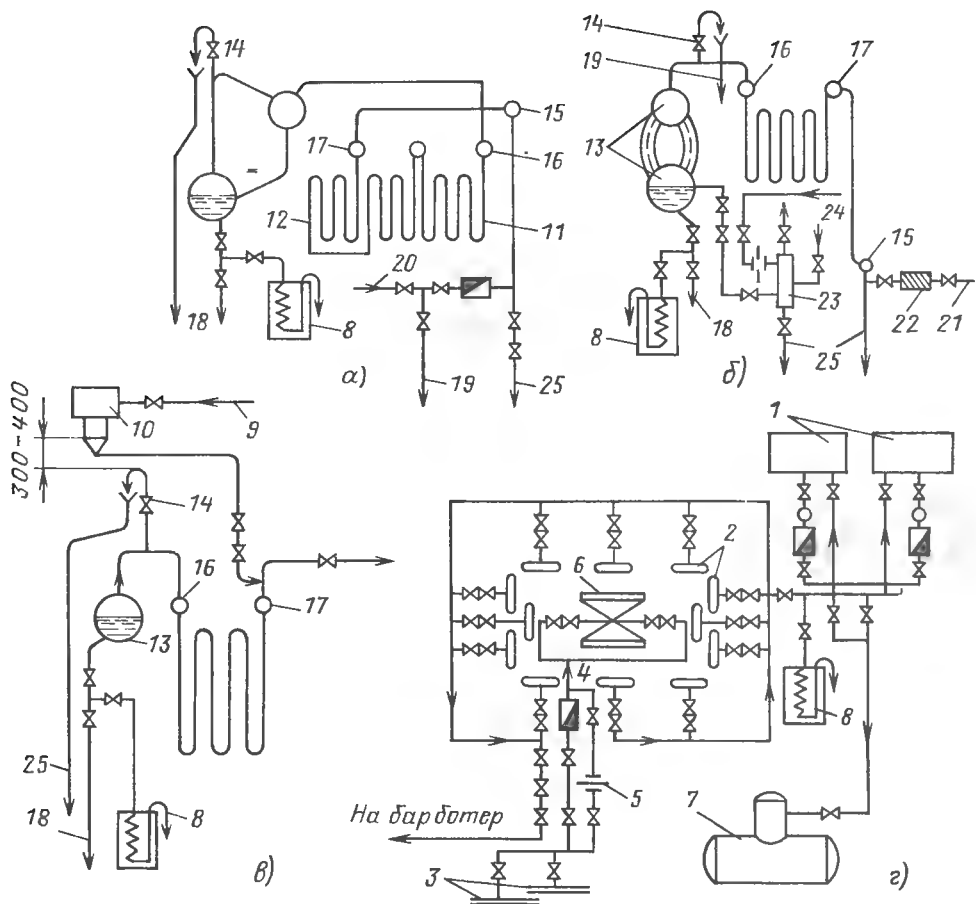


Рис. 24. Схемы консервации котлов под давлением:

а — горячий резерв; б — деаэрированной питательной водой; в — холодной водой; г — питательной водой через нижние коллекторы; 1 — дренажные баки; 2 — нижние коллекторы экранов; 3 — магистрали питательной воды; 4 — питательная вода в экономайзер; 5 — обводная линия с дросселем; 6 — экономайзер; 7 — деаэратор ДА; 8 — отбор проб; 9 — подача питательной холодной консервирующей воды; 10 — бак со stalестружечным фильтром; 11 и 12 — первая и вторая ступени пароперегревателя; 13 — котел; 14 — воздушники; 15 — главный паропровод; 16 и 17 — входной и выходной коллекторы пароперегревателя; 18 — в расширитель непрерывной продувки; 19 — в дренажные баки; 20 — пар собственных нужд; 21 — вода от деаэраторов 0,6 МПа или продувочная вода от расширителей непрерывной продувки; 22 — stalестружечный фильтр; 23 — фосфатный дозатор; 24 — подвод питательной воды из деаэратора; 25 — в дренаж

свободной углекислоты и кислорода, для чего необходимо организовать продувку паровых объемов подогревателей из мест, где наиболее высока концентрация газов в парогазовой смеси;

собирать и транспортировать конденсат под давлением выше атмосферного, чтобы избежать попадания в конденсат воздуха;

вводить в пар или конденсат аммиак для связывания свободной углекислоты;

применять пленкообразующие амины (октадециламин).

Для борьбы с коррозией латунных труб

конденсаторов-теплообменников необходимо применять трубки из медных легированных сплавов (ЛА, ЛОМШ, МНЖ, МН), стойких в воде данной минерализации, при наличии в ней взвешенных веществ, попадании стоков и при расчетных скоростях движения воды в трубках. При высокой степени минерализации воды необходимо применять катодную или протекторную защиту, а также не допускать наличия свободного аммиака в конденсате при содержании в нем кислорода более 100 мкг/л.

Борьба с коррозией водоподготовительного оборудования ведется в первую очередь

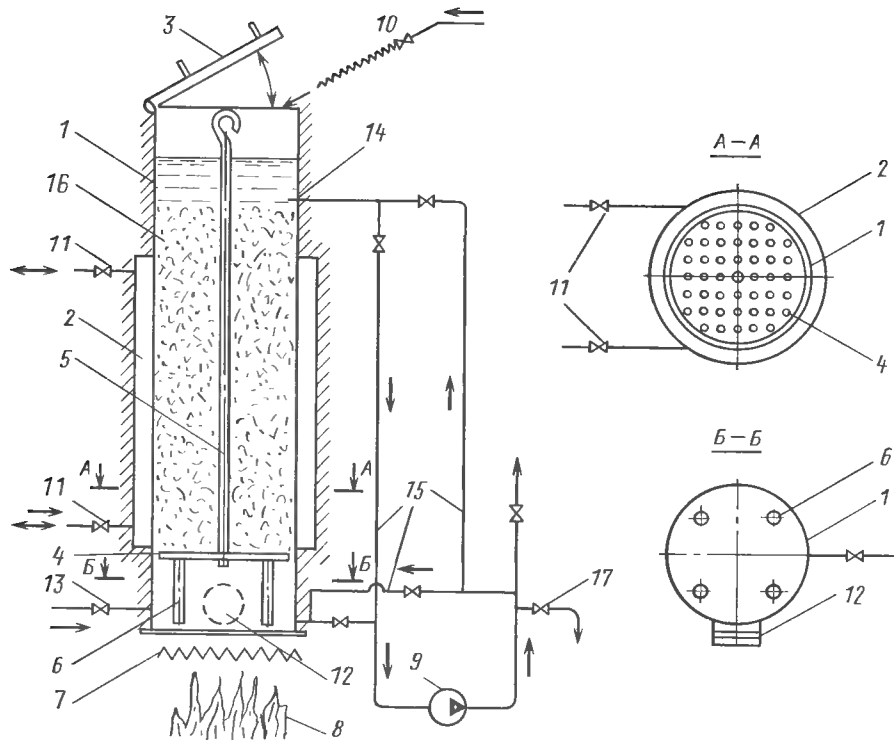


Рис. 2.5. Растворитель (автоклав) для растворения силикат-глибы при атмосферном давлении: 1 - корпус (стальная труба $D=500$ мм, $h=1500 \div 1800$ мм); 2 - водяная рубашка (стальная труба $D=600$ мм, $h=700 \div 1000$ мм); 3 - крышка; 4 - выемное ложное дырчатое дно (с отверстиями $d=8 \div 10$ мм, с четырьмя опорами ножками и штырем для подъема); 5 - штырь; 6 - опоры-ножки (из трубы $d=50 \div 75$ мм); 7 - электронагреватель ($N=5 \div 10$ кВт); 8 - пламя из огневой топки; 9 - циркуляционно-перекачивающий насос ($Q=10 \div 20$ м³/ч); 10 - шланг для подвода воды; 11 - вход и выход греющей воды в рубашку; 12 - бобышка с заглушкой ($d_s=80 \div 100$ мм) для очистки поддонного пространства; 13 - подвод острого пара; 14 - теплоизоляция; 15 - циркуляционные коммуникации ($d_v=38 \div 50$ мм); 16 - силикат-глиба в кусках (20—50 мм); 17 - отбор проб

путем применения стойких в данной среде материалов: нержавеющей стали, пластмасс, органических покрытий.

Перечень применяемых в настоящее время защитных покрытий дан в приложении.

Важнейшими способами борьбы с коррозией трубопроводов систем тепловодоснабжения являются термическая деаэрация подпиточной воды, силикатная обработка подпиточной воды, а также консервация трубопроводов во время прекращения работы сетей с применением консервирующих растворов (NaOH , NH_3 , $\text{NaO} \cdot m\text{SiO}_2$) или деаэрированной воды, недопущение опорожнения систем или, в крайнем случае, опорожнения их на короткое время, необходимое для ремонта.

При силикатной обработке сетевой воды на поверхности металла создаются ферросиликатные пленки составов $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeSiO}_3$ и $\text{CaSiO}_4 \cdot \text{FeOH}$, защищающие металл от кон-

такта с кислородом и углекислотой, растворенными в воде.

Для силикатирования воды (содержание 15—40 мг/л SiO_2) применяется жидкое стекло состава $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$ ($m=2,4 \div 3,4$), получаемое растворением - разваркой стекловидного силиката - глибы в горячей воде при $t=70 \div 100$ °C без давления в аппарате, изображенном на рис. 2.5, или при давлении 0,3—0,6 МПа и температуре 150—160 °C в автоклаве. Концентрированный раствор жидкого стекла разбавляют водой до плотности 1,03—1,08 и вводят в подпиточную воду при помощи или насосов-дозаторов, или шайбовых дозаторов-вытеснителей пропорционально расходу воды (рис. 2.6). При высоком кремнесодержании водопроводной воды (> 10 —15 мг/л SiO_2) защитная пленка может образовываться без дополнительного ввода силиката натрия.

В периоды ночных провалов расхода воды

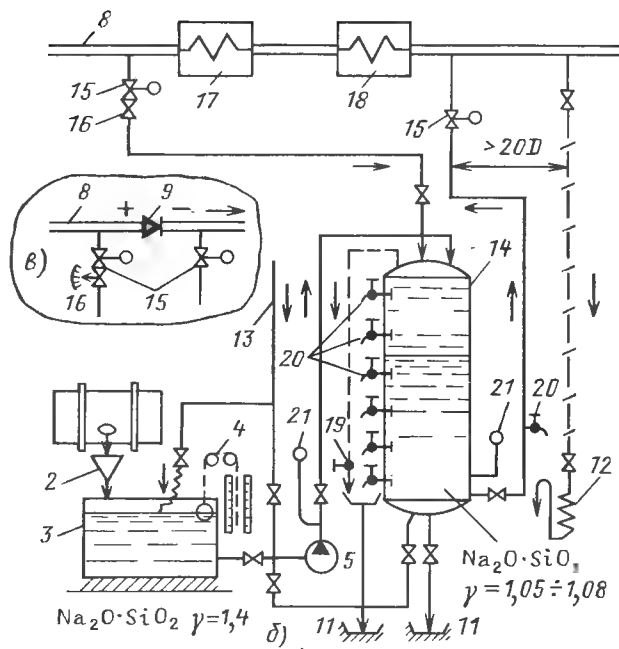
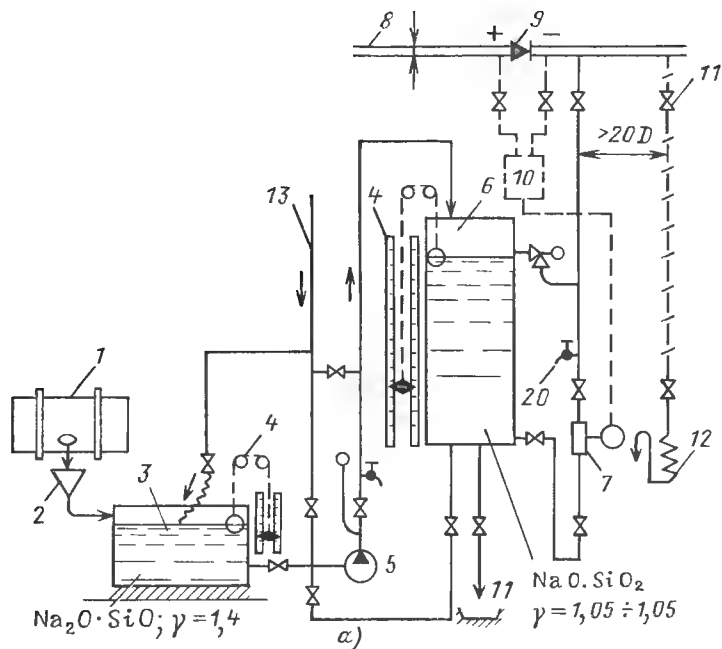


Рис. 2.6. Схемы установок для ввода раствора силиката натрия - жидкого стекла в подпиточную (сетевую) воду систем горячего водоснабжения:

а – открытая схема с дозирующим насосом; *б* – напорная схема с дозатором-вытеснителем; *в* – вариант схемы *б* с диафрагмой; *1* – бочка с крепким раствором силиката; *2* – сливная воронка; *3* – запасной бак крепкого раствора; *4* – поплавковый указатель уровня; *5* – перекачивающий насос для вязких жидкостей; *6* – расходный бак для рабочего разбавленного раствора силиката; *7* – насос-дозатор; *8* – трубопровод сетевой воды; *9* – диафрагма; *10* – электронный регулятор дозировки по расходу воды (комплект); *11* – сливные каналы; *12* – холодильник для отбора проб сетевой воды из прямой линии; *13* – подвод водопроводной воды; *14* – напорный бак дозатор; *15* – вентиль-кран с дистанционным приводом; *16* – дозирующий кран; *17* – подогреватель I ступени; *18* – подогреватель II ступени; *19* – воздушник; *20* – контрольные краны для контроля уровня и концентрации раствора силиката; *21* – манометр

на горячее водоснабжение с 23 до 6 ч силикат не вводится. Допустимые колебания ввода силиката натрия составляют $\pm 15-20\%$. Передозировка силиката натрия (особенно в ночное время) опасна, так как она может вызвать зарастание дозирочных устройств и трубопроводов силикатными отложениями в месте ввода реагента и на поверхности нагрева водогрейных котлов.

Борьба с коррозией оборудования оборотных систем охлаждения ведется путем изготовления его из коррозионно-стойких материалов (дерево, цемент, асбоцементные плитки), а также защиты их противокоррозионными покрытиями и пропитки древесины. Оборудование, соприкасающееся с высокоминерализованной (>1000 мг/л) водой, водяные камеры конденсаторов должны иметь противокоррозионную (катодную, протекторную) защиту или защитные покрытия.

При охлаждении поверхности аппаратов с высокотемпературным теплоносителем ($>80^\circ\text{C}$) оборотная охлаждающая вода в закрытых системах должна быть смягчена, однако она при проходе через водоохлаждающие устройства насыщается кислородом и становится коррозионно-активной по отношению к стальным охлаждаемым элементам, не имеющим защитных покрытий или накипи. Для понижения коррозионной агрессивности охлаждающей воды в нее с разрешения санитарных органов вводят по 20–50 мг/л хроматов и бихроматов в пересчете на Cr^{6+} , 5 мг/л PO_3^{3-} и 15–20 мг/л Zn^{2+} . Путем ввода $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$ или NaOH поддерживают $\text{pH} = 8,3 \div 8,5$. Оптимальный режим пассивации устанавливают по индикаторам коррозии или по контрольным вырезкам из труб.

Градири при таких системах охлаждения должны быть удалены от других производственных корпусов и дорог, и приняты меры для уменьшения капельного уноса охлаждающей воды.

2.12. Водно-химические режимы паровых котлов и теплоутилизационных парогенераторов (ТУПГ)

Водно-химические режимы. Ведение водно-химического режима преследует цель предотвратить возможность накипеобразования и коррозии котлов и ТУПГ, а также получить пар требуемого качества при наименьших потерях тепла с продувочной водой. Продувка котлов и ТУПГ необходима, чтобы предотвратить накопление в котловой

воде примесей, которые, несмотря на докотовую обработку, могут попасть в котел с питательной водой и вызвать накипеобразование, коррозию или ухудшить качество пара.

При выборе водно-химического режима парового котла и ТУПГ учитываются давление, производительность, теплонеприятие парогенерирующей поверхности нагрева, вид топлива, наличие перегрева пара и требования к его качеству со стороны потребителей. Соблюдение установленных норм качества питательной и котловой воды и пара должно обеспечить безаварийную работу котлов по крайней мере в период между капитальными ремонтами.

Солевые балансы паровых котлов. Поступающие в котел с питательной водой примеси удаляются из него с продувочной водой и паром, а остающиеся в котле образуют на его поверхностях отложения. При выполнении норм качества питательной воды и правильной коррекционной обработке котловой воды количество осаждающихся в котле солей весьма мало. Учитывая выше сказанное, для условий, когда составляющими питательной воды являются конденсат и добавочная вода, солевой баланс можно записать в виде

$$q_k S_k + Q_d S_d = q_n S_n + q_{пр} S_{пр}$$

Размер продувки в процентах паропроизводительности котла можно определить по уравнению:

$$q_{пр}'' = \frac{S_{пр} \cdot 100}{S_{к.в} - S_{п.в}}$$

а размер продувки в процентах расхода питательной воды — по уравнению

$$q_{пр}^{п.в} = \frac{S_{п.в} \cdot 100}{S_{к.в}}$$

Солевой баланс котлов со ступенчатым испарением выражается уравнением

$$Q_{п.в} S_{п.в} = q_{пр}' S_{к.в} = q_{пр}'' S_{к.в} = q_{пр}''' S_{к.в}.$$

В приведенных формулах G_n — паропроизводительность, т/ч; $Q_{п.в}$ — расход питательной воды, т/ч; q_k — возврат конденсата, т/ч; Q_d — количество добавочной воды, т/ч; $q_{пр}$ — продувка, %; $q_{пр}'$ — продувка чистого отсека, т/ч; $q_{пр}''$ — продувка солевого отсека 2-й степени, т/ч; $q_{пр}'''$ — продувка солевого отсека 3-й степени, т/ч; S — солесодержание, мг/л: S_k — конденсата; S_d — добавочной воды; S_n — пара; $S_{п.в}$ — питательной воды; $S_{пр}$ — продувочной воды.

Продувка энергетических котлов, %: при конденсатном питании 0,5–1, при питании

с добавкой необессоленной воды 1—5.

Продувка промышленно-отопительных котлов с питанием необессоленной водой, если вода и теплота продувки не используются, составляет 2—5 %, при полном использовании теплоты и воды продувки - 7—15 %.

Периодичность продувок приведена в табл. 2.7.

Внутристанционные потери пара и конденсата составляют на КЭС 1 %, отопительных ТЭЦ до 1,2 %, на промышленных ТЭЦ не более 1,6 % при полной нагрузке ТЭЦ и котельных низкого и среднего давления 2—3 %. Для КЭС, ТЭЦ и котельных при работе их с неполными нагрузками внутристанционные потери увеличиваются, но не более чем в 1,5 раза против вышеуказанных.

Для регулирования величины непрерывной продувки должны применяться игольчатые вентили из инносостойкой стали, дроссельные проставки и «гребенки», а также «капилляры» ОРГРЭС.

Для измерения расхода непрерывной продувки, или, точнее, для поддержания ее на

заданном уровне, могут применяться обычные измерительные диафрагмы при диаметре продувочных линий не менее 50 мм.

Пропускная способность ограничительных шайб и «гребенок» ОРГРЭС должна быть проверена экспериментально.

В зависимости от количества шлама, образующегося в котлах, в табл. 2.7 указана следующая периодичность проведения продувок из нижних точек (нижних коллекторов, грязевиков и др.): при продувке нижних точек необходимо полностью открыть запорный вентиль (первый по ходу — ближайший к котлу) и затем сразу же полностью плавно открыть и так же плавно сразу же закрыть регулирующий продувочный вентиль (второй от котла). Только при продувке котлов без ступенчатого испарения с большим водяным объемом, работающих с внутрикотловой обработкой, продолжительность продувки из мест скопления шлама можно увеличивать, но не более чем до 30 с (при полном открытии) и при контроле уровня воды в барабане по водоуказательным стеклам.

Т а б л и ц а 2.7. Ориентировочные данные о периодических продувках

Условия обработки, жесткость питательной воды	Продувочные точки из мест скопления шлама	Остальные точки нижней продувки
При внутрикотловой обработке при наличии непрерывной шламовой продувки	1 раз в смену	1 раз в сутки
То же без непрерывной шламовой продувки	2 раза в смену	»
При докотловой обработке жесткость питательной воды, мг-экв/л: >0,3 0,05—0,3 0,01—0,05 0,005—0,01 <0,005	1 раз в смену	»
	1—2 раза в сутки	1 раз в 2 суток
	1 раз в сутки	1 раз в 3—5 суток
	2 раза в неделю	1 раз в неделю
	2—3 раза в месяц	
Чистые отсеки: нормально при повышенной жесткости	1—2 раза в неделю	1 раз в неделю
	1 раз в сутки	1—3 раза в неделю
Солевые отсеки	1—3 раза в неделю	1 раз в неделю

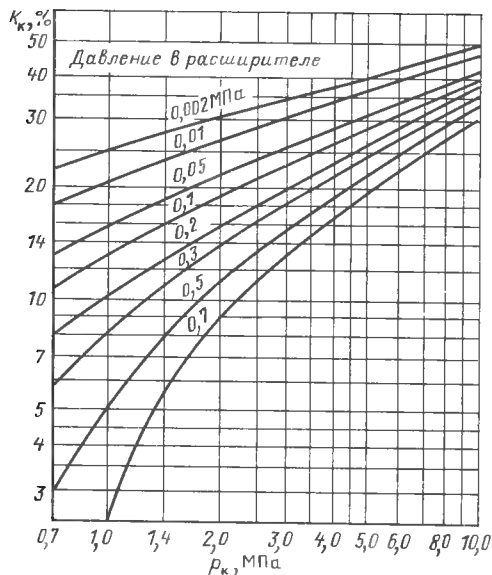


Рис. 2.7. Количество пара, выделяющегося при самоиспарении продувочной воды при снижении давления:
 $K_{пр} = (0,95i_k - i_n) \cdot 100, \%$

Использование продувочной воды. Каждый процент продувки котла понижает его КПД на 0,15—0,25 % из-за потери потенциала продувочной воды. Чем ниже давление пара в расширителе, тем больше в них выделяется пара и больше получается конденсата этого пара (рис. 2.7).

Целесообразно использовать продувочную воду и теплоту непрерывной продувки котлов более высокого давления для питания котлов более низкого давления и испарителей или непрерывную продувку котлов для подпитки закрытой теплотсети (при наличии разрешения санитарных органов и при исправных теплообменниках).

При невозможности использования воды продувки для питания котлов, испарителей и т. п. возможно применение следующей схемы: снижение давления продувочной воды

в расширителе с рабочего давления в котле до 0,05—0,07 МПа и использование выделившегося пара в деаэраторах;

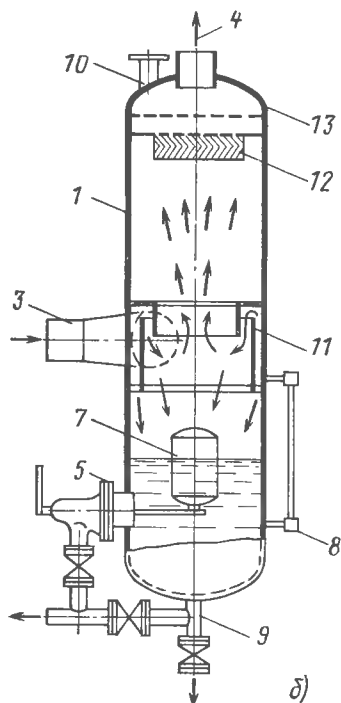
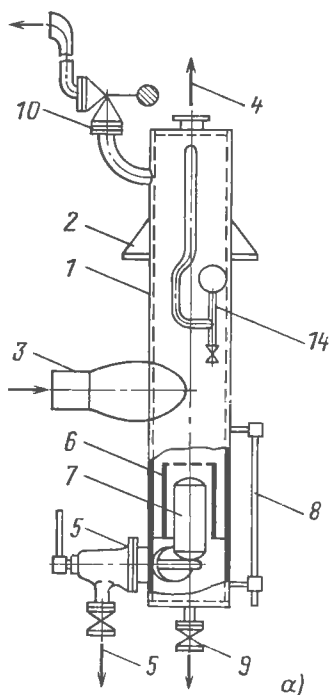


Рис. 2.8. Сепараторы-расширители продувочной воды ЦКТИ:

а — $D = 300$ мм; б — $D = 500 \div 800$ мм; 1 — корпус; 2 — опоры; 3 — вход продувочной воды; 4 — выход отсепарированного пара; 5 — регулятор выхода продувочной воды; 6 — дырчатый колпак; 7 — поплавок регулятора; 8 — водомерное стекло; 9 — дренаж; 10 — отвод к предохранительному клапану; 11 — улитка; 12 — пластинчатый каплеуловитель; 13 — дроссельный потолок; 14 — манометр

направление отсепарированной в расширителе воды в теплообменники для подогрева исходной или обработанной воды ВПУ;

использование охлажденной до 40–50 °С продувочной воды для растворения соли на ВПУ и другие технические нужды.

Все теплообменники продувочной воды должны иметь трубки из меди или сплава МНЖ-5-1, так как стальные трубки нестойки в нагреваемой воде, содержащей кислород, а латунные — в щелочной продувочной воде.

Расширители должны быть оборудованы эффективными сепарационными устройствами для отделения воды от пара (рис. 2.8) и иметь напряжение парового объема не более 800 м³/(м³·ч). Целесообразно дросселировать продувочную воду не в самих расширителях, а раньше, в трубопроводе достаточного сечения, чтобы капли воды до поступления пароводяной смеси в расширитель могли образовать пленку на стенках или укрупниться при небольших скоростях в трубопроводе.

Расширители должны иметь водомерные стекла, предохранительные клапаны (при $p >$

$>0,07 \pm 0,1$ МПа) или гидрозатворы высотой 5–7 м.

Более надежно работают расширители с гидравлическим затвором высотой 7–10 м (рис. 2.9). Расширители целесообразно оборудовать паротборными зондами и холодильниками. Отбор и химанализ проб пара позволяют выявить в процессе пуска эффективность работы сепарационных устройств расширителя.

Внутрибарабанные устройства предназначены для решения многих задач. Так, они служат для равномерного распределения питательной воды в барабанах и быстрого смешения ее с котловой водой, для уменьшения уноса капель воды паром, промывки пара питательной водой от унесенных солей котловой воды, для выравнивания по площади и объему барабана скоростей пароводяной смеси и пара, для создания контуров с концентрированием солей в солевых отсеках (2-я и 3-я ступени испарения) и др.

Наиболее совершенными сепарационными устройствами в паровых котлах в настоящее

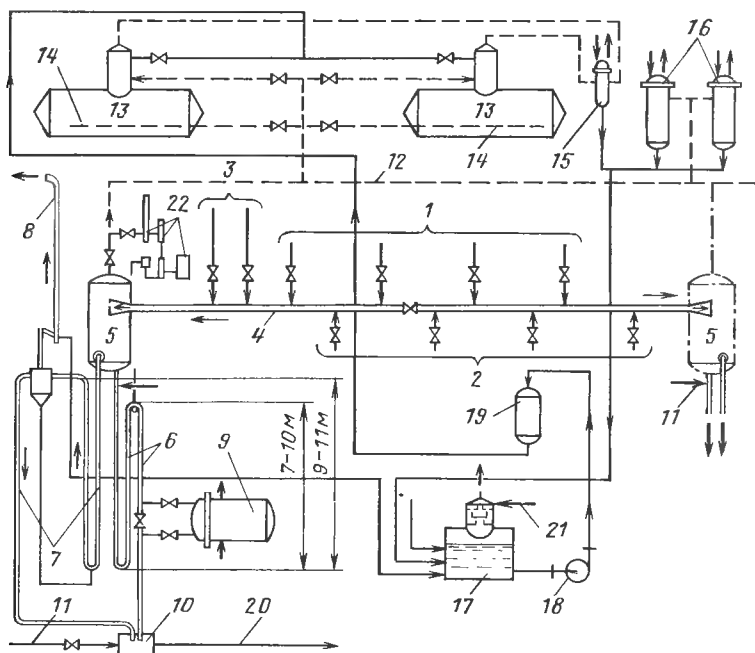


Рис. 2.9. Установка сепаратора с сифонным гидрозатвором — переливом на отметке +8 м: 1 — непрерывная продувка; 2 — периодическая продувка; 3 — другие виды продувки; 4 — коллектор; 5 — расширители-барботеры; 6 — слив воды (сифон); 7 — гидрозатвор; 8 — аварийный выхлоп; 9 — теплообменник; 10 — охладитель; 11 — техническая вода для расхолаживания; 12 — паропровод на 0,12–0,2 МПа; 13 — деаэраторы ДА; 14 — барботеры деаэраторов; 15 — охладитель выпара; 16 — бойлеры; 17 — дренажный бак с колонкой; 18 — насос; 19 — механический фильтр для дренажного конденсата; 20 — в канализацию; 21 — химически обработанная вода для охлаждения; 22 — отбор проб пара

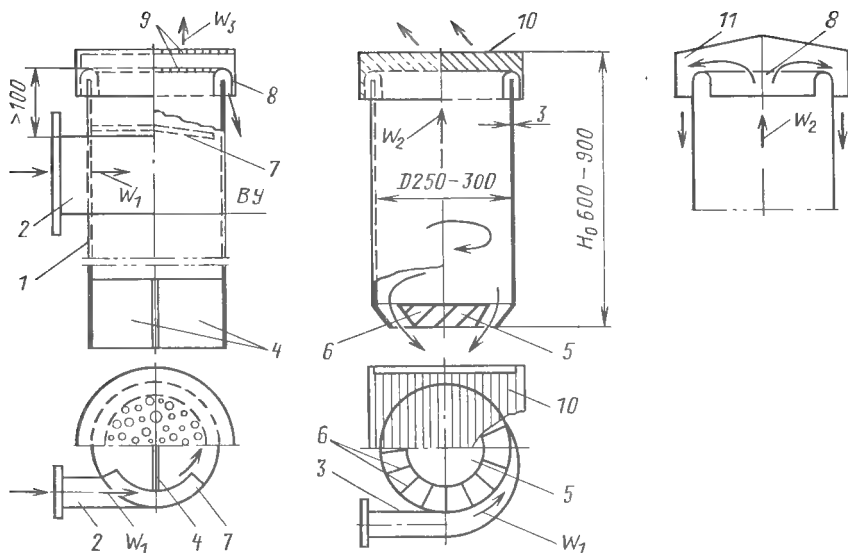


Рис. 2.10. Внутрибарабанные циклоны:

1 — корпус; 2 — подводящий штуцер; 3 — подводящая улитка; 4 — крестовина; 5 — дно; 6 — лопатки; 7 — козырек; 8 — замок; 9 — дроссельная крышка; 10 — жалюзийная крышка; 11 — глухая поворотная крышка; $W_1 = 8 \div 12$; $W_2 = 0,6 \div 0,8$; $W_3 = 2 \div 4$ м/с

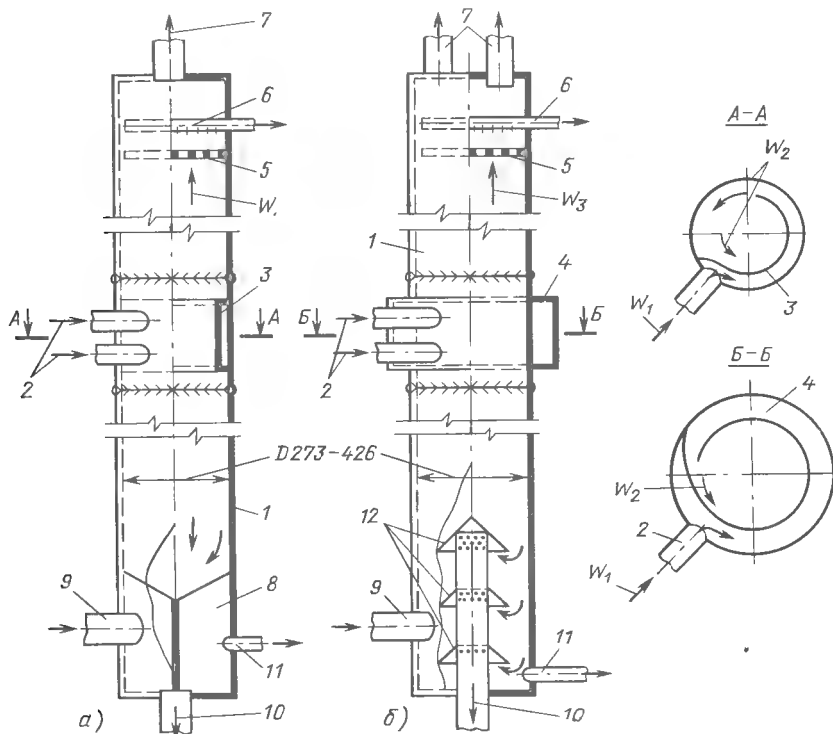


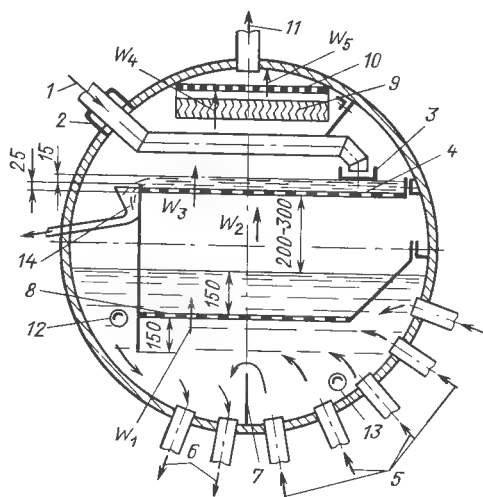
Рис. 2.11. Выносные циклоны:

а — с внутренней улиткой; б — с внешней улиткой; 1 — корпус; 2 — вход пароводяной смеси; 3 — внутренняя улитка; 4 — внешняя улитка; 5 — дроссельный потолок; 6 — дырчато-щелевой парозаборный зонд; 7 — выход пара; 8 — крестовина; 9 — подвод воды; 10 — опускные трубы; 11 — вывод продувочной воды $W_1 = 5 \div 6$; $W_2 = 8 \div 12$; $W_3 = 0,4 \div 0,9$ м/с

Некоторые характеристики паросепарационных и других внутрибарабанных устройств котлов давлением 1,4–4,0 МПа приведены ниже:

The drawing consists of two parts. The main part is a perspective view of a cylindrical device. A vertical shaft (4) passes through the center of a circular disk (1). A horizontal rod (2) is attached to the shaft. A curved blade (3) is mounted on the rod. A small gear or pulley (5) is on the shaft. A dashed line (6) indicates a cross-section. Arrows show the direction of rotation and movement. The bottom part is a top-down view of the disk (1) and shaft (4), showing the internal components (2, 3, 5) and the flow of material or fluid (indicated by arrows).

1 - барабан; 2 — циклон-улитка; 3 — дренажная труба; 4 — паросборная труба; 5 — отвод пара; 6 - дно циклона



1 — подача питательной воды; 2 — защитный стакан-рубашка; 3 — распределительное корыто; 4 — паропромывочный дырчатый лист; 5 — подвод паровой смеси; 6 — опускные трубы; 7 — разделительная перегородка; 8 — затопленный дырчатый щит; 9 — жалюзийный пластинчатый каплеуловитель; 10 — дырчатый дроссельный пологоток; 11 — отвод пара; 12 — подвод раствора фосфата; 13 — отбор проб котловой воды; 14 — воронка для отбора проб промывочной воды; $W_1=2\div 4$; м/с; $W_2=0,3\div 0,4$; $W_3=1,0\div 1,2$; $W_4=0,5\div 0,6$; $W_5=8\div 12$ м/с

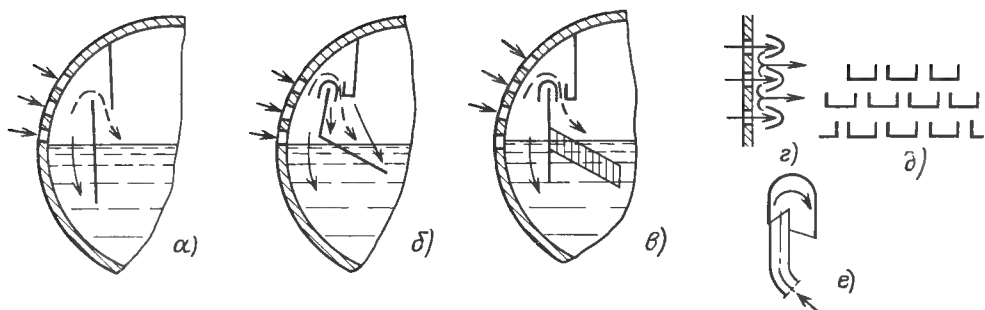


Рис. 2.14. Типы внутрибарабанных сепарационных устройств:

а — щиток с выбросом пара на воду; б — то же с выбросом пара на лист; в — то же с выбросом пара на жалюзи; г — дырчатый лист с прикрывающими желобками; д — швеллерковая стенка; е — колпак «Ганоманг»

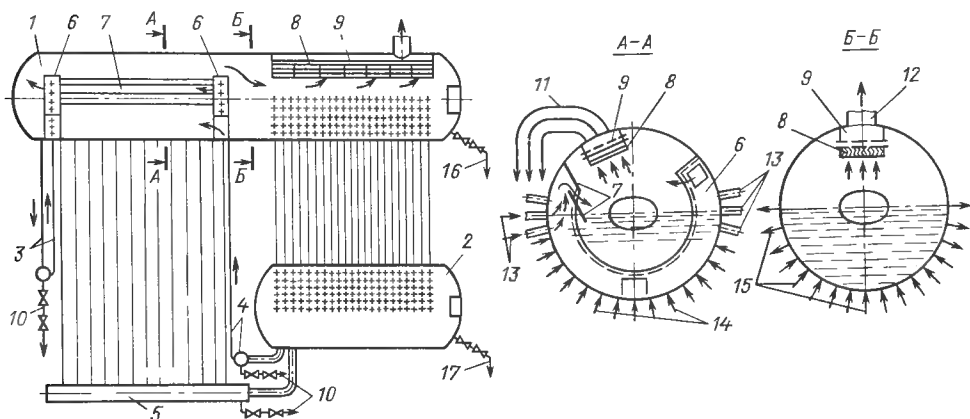


Рис. 2.15. Сепарационные устройства котла ДКВр:

А-А — разрез по передней части верхнего барабана с встроенным пароперегревателем; Б-Б то же без пароперегревателя; 1 — верхний барабан; 2 — нижний барабан; 3 — фронтальный экран; 4 — задний экран; 5 — левый боковой экран; 6 — сборно-распределительные короба для пароводяной смеси фронтального и заднего экранов; 7 — отбойные щитки для пароводяной смеси боковых экранов; 8 — жалюзийный каплеуловитель; 9 — дроссельный пароприемный потолок; 10 — продувка нижних коллекторов экранов; 11 — отвод насыщенного пара во встроенный пароперегреватель; 12 — отвод насыщенного пара потребителям; 13 — подъемные трубы боковых экранов; 14 — подъемные трубы фронтального и заднего экранов; 15 — трубы конвективного пучка; 16 — продувка верхнего барабана; 17 — продувка нижнего барабана

Данные о циклонной сепарации приведены в табл. 2.8.

Паропроизводительность солевых отсеков

равна 7—15 % общей при конденсатном режиме и 20—25 % при питании с добавкой необессоленной воды.

Таблица 2.8. Характеристики внутрибарабанных циклонов

Показатель	Диаметр циклонов, мм				
	200	250	300	350	400
Производительность внутрибарабанных циклонов при давлении 2,4—4, т/ч, МПа	1—1,5	2	2,5—3	3,5	—

Показатель	Диаметр циклонов, мм				
	200	250	300	350	400
Производительность выносных циклонов, т/ч, при давлениях, МПа:					
1,4	1	1,5	1,8	3	3,5
2,4	1,5	2,5	3	4	5,5
4	2,5	3	3,5	5	6
Высота парового объема, мм:					
внутри барабанных циклонов			100—150		
выносных циклонов			1000—1500		
Высота водяного объема циклонов, мм:					
внутрибарабанных			300—600		
выносных			2500—3000		
Скорость ввода пароводяной смеси в циклон для обеспечения надежности циркуляции в котле, м/с:					
при внутрибарабанных циклонах	4 6	8—10			
выносных циклонах (см. рис. 2.11, W ₁)		6 12			
Скорость подъема пара осевая во внутрибарабанных циклонах чистых отсеков при давлениях МПа:					
1,4		0,9—1		—	
2,4		0,75—0,85		—	—
4		0,6—0,7		—	
То же солевых отсеков при давлениях МПа:					
1,4		1,3		—	—
2,4		1,1		—	—
4		0,8—0,9			
То же выносных отсеков при давлениях МПа:					
1,4		0,9—1			
2,4		0,75—0,85			
4		0,6—0,7			
Скорость в отверстиях дырчатого потолка выносных циклонов, м/с			2 4		
Допустимая посадка уровня в выносных циклонах, мм					1000 ниже уровня воды в барабане

2.13. Установление эксплуатационных норм водно-химического режима паровых котлов и ТУПГ

Установление эксплуатационных норм водного режима — зависимости качества пара от производительности котла, давления, уровня и качества (солевого содержания, щелочности) котловой воды — проводится в два этапа после того, как произойдет полное осветление котловой воды и будет освоена работа котла.

Первый этап включает наблюдение за качеством пара при фактическом тепловом режиме котла (паропроизводительности, давления и уровне с их произвольными колебани-

ями) и определение зависимости качества пара только от качества котловой воды. Для повышения солевого содержания котловой воды сокращают размер продувки

Наблюдения ведутся либо непрерывно при наличии регистрирующих приборов и уплотнением в 2—4 раза графике ручного химконтроля в течение нескольких суток, либо отдельными сериями опытов по 5—7 ч каждый, всего 8—10 опытов. Нормальным считается содержание котловой воды, составляющее 20—30 % критического значения, при котором начиналось заметное ухудшение качества пара.

Второй этап включает развернутые тепलो-химические испытания с заданными режимами, при которых изменяются производитель-

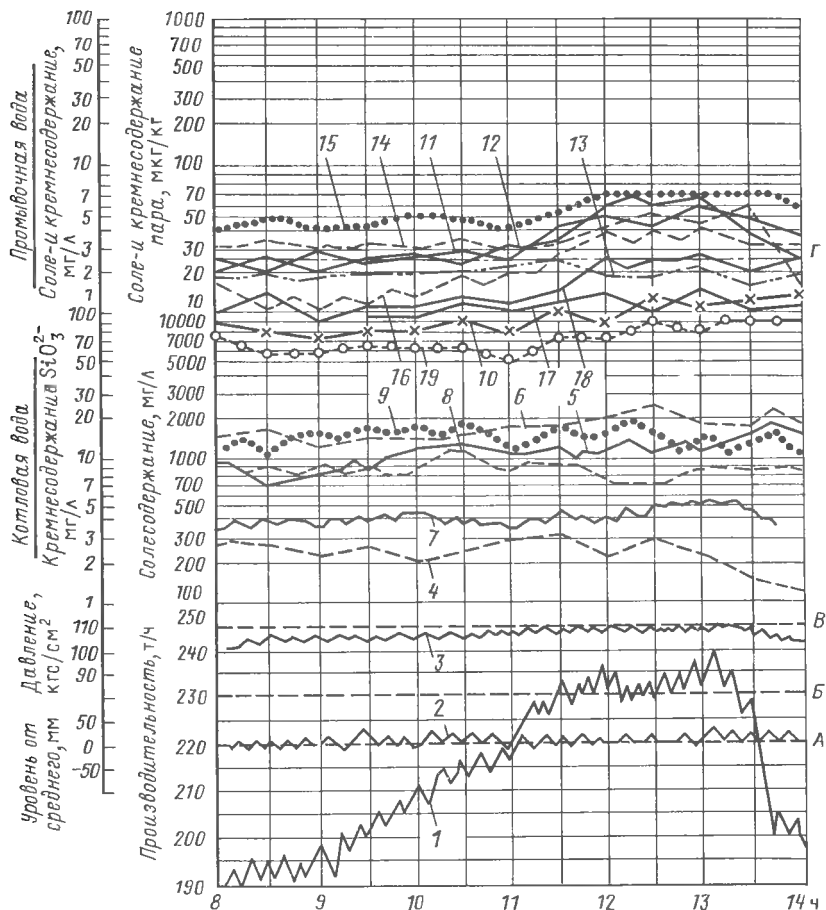


Рис. 2.16. Данные отдельного опыта при испытании водно-химического режима работы котла на качество пара (с полулогарифмической сеткой для показателей качества воды и пара): А - средний уровень; В - нормальная паропроизводительность; В - нормальное давление; Г - нормальное кремнесодержание пара; 1 паропроизводительность; 2 уровень; 3 давление; 4 - кремнесодержание котловой воды чистого отсека; 5 - то же левого соленого отсека; 6 - то же правого; 7 - кремнесодержание котловой воды чистого отсека; 8 - то же левого соленого отсека; 9 - то же правого; 10 - то же промывочной воды; 11 - кремнесодержание промывочной воды; 12 - кремнесодержание насыщенного пара слева; 13 - то же посередине; 14 - то же справа; 15 - то же перегретого пара; 16 - кремнесодержание насыщенного пара слева; 17 - то же посередине; 18 - то же справа; 19 - кремнесодержание перегретого пара

ность котла, уровень и соле-содержание котловой воды. По намеченной программе осуществляются быстрые колебания производительности котла и уровня котловой воды при качестве котловой воды, установленном во время первого этапа. Эти испытания (5 - 10 опытов) нужны, чтобы убедиться, что при нормальном качестве котловой воды качество пара не может ухудшаться при всех возможных изменениях теплового режима.

Опыты первого этапа при сниженном соле-содержании котловой воды называются «снятием сепарационной характеристики кот-

ла». При невозможности произвольного изменения теплового режима котла, например при ТУПГ, ограничиваются только первым этапом.

Как наблюдения, так и испытания проводятся только на котлах с пароперегревателями, выдающими перегретый пар для энергетических и промышленных потребителей с соле-содержанием менее 500 - 1000 мкг/кг. Котлы, вырабатывающие насыщенный пар, в полном объеме не испытываются, у них контролируется только влажность пара (по щелочности или соле-содержанию пара и котловой воды), которая должна быть не более 1 %,

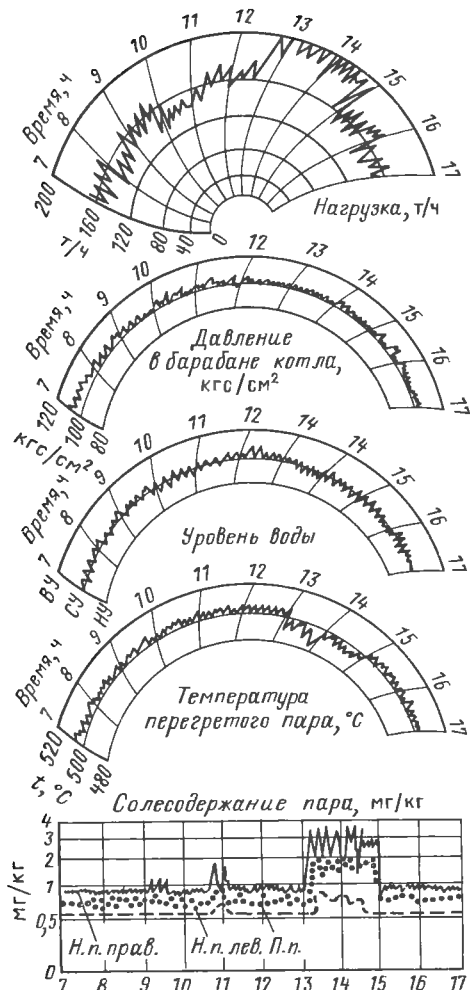


Рис. 2.17. Упрощенный график опыта при испытаниях водно-химического режима (диаграммы приборов скопированы в зеркальном изображении)

т. е. щелочность или солесодержание пара не должны превышать 1 % щелочности и солесодержания котловой воды. Размер продувки таких котлов равен 2–5 %. При полном использовании теплоты и воды продувки допускается увеличение размера продувки промышленных котлов и котлов-утилизаторов до 10–15 %.

При проведении испытаний контроль производительности, уровня (по каждому отсеку), давления, температуры перегрева ведется через 10–15 мин, солесодержания и щелочности питательной и котловой воды — через 30–60 мин (по каждой точке отбора), солесодержания пара (с упариванием проб) — через

1 ч, щелочности пара по фенолфталеину и метилоранжу (без упаривания проб) — через 15–30 мин.

При нестационарном режиме (при колебаниях производительности и уровня) или при ухудшении качества пара записи показаний приборов и отбор проб учащаются в 2–3 раза. Работа котла при ухудшенном качестве пара допускается в течение не более 30 мин, после чего снижают производительность, уровень и солесодержание котловой воды для доведения качества пара до нормы. Желательна остановка котла и промывка пароперегревателя конденсатом (хуже химически обработанной водой).

Во время каждого опыта из отобранных разовых проб составляют средние пробы питательной и котловой воды объемом каждая 0,5–1 л. В средних пробах определяют солесодержание по солемеру, сухой остаток, щелочность по фенолфталеину и метилоранжу, pH, фосфаты, хлориды, перманганатную окисляемость.

Результаты измерений и анализов в каждом опыте записывают в ведомостях и строят соответствующие графики (рис. 2.16). Составляют также сводную ведомость испытаний, где помещают все минимальные и максимальные значения и усредненные результаты каждого опыта.

Вместо составления графиков возможно копирование диаграмм щитовых регистрирующих приборов котла (в зеркальном изображении) (рис. 2.17).

2.14. Краткие указания по внутреннему осмотру паровых котлов в целях оценки их водного режима

Осмотр нового котла. При осмотре обращается внимание на чистоту, в частности на отсутствие масляных пятен и мусора на внутренних поверхностях барабанов, сухопарника, труб и сепарационных устройств.

Осмотр проводится после щелочения котла. Наличие на внутренней поверхности котла после щелочения темно-красного, бурого или черного налета не служит признаком плохого щелочения.

При осмотре котла перед пуском необходимо особое внимание обращать на его сепарационные устройства, в которых не должно быть неплотностей в сплошных перегородках, а при дырчатых перегородках неплотности в соединениях не должны превышать 10–15 % площади сечения отверстий.

Должна быть обеспечена плотность швов

перегородок вблизи паропроводящих труб, особенно в тех местах, где прошедшая через неплотности влага может быть сразу увлечена паром.

В котлах со ступенчатым испарением проектные размеры должны соответствовать отверстиям и водоперепускным соплам и должна обеспечиваться плотность перегородок между чистым и соевым отсеками как в барабане, так и в коллекторах.

Необходимо также проверить правильность размещения и размеров устройств для непрерывной продувки, коллекторов для ввода фосфатов, питательных труб, рециркуляционных труб и элементов.

При явном несоответствии сепарационных устройств проектным данным необходимо снять с них эскизы с точными размерами, сверить все размеры с проектными, проверить расчетные скорости и сопоставить их значения и пути движения пара с проектными.

Если отклонения скоростей больше 10 – 15 %, сепарационные устройства должны быть переделаны в соответствии с проектом. При осмотре необходимо обратить внимание на соответствие выполненных сепарационных устройств не только проекту, но и общепринятым техническим нормам и положениям.

Чистота внутренней поверхности коллекторов экранов, водяных экономайзеров и пароперегревателей проверяется в пределах видимости.

Котел может быть включен в работу только после устранения всех замеченных дефектов и проведения всех подготовительных работ к испытаниям (установка зондов и холодильников для отбора проб котловой воды и пара).

Осмотр работавшего котла. Если предыдущими осмотрами котла было установлено, что сепарационные устройства в котле выполнены правильно, в соответствии с проектом или общепринятыми нормами, то их тщательная проверка при повторных осмотрах не требуется, обращается внимание на появление каких-либо дефектов (трещины в швах, отогнутые листы, выпавшие прокладки и т. д.) и плотность внутрибарабанных и выносных парохладителей.

При повторных осмотрах эксплуатирующегося котла основное внимание уделяется состоянию внутренних поверхностей барабана наличию на них отложений (солей, шлама, накипи) и коррозионных повреждений (раковин, язв).

Необходимо помнить следующее.

1. Отложения накипи (силикатной, сульфатной) образуются большей частью на радиационной поверхности нагрева (экраны, первые ряды кипяточного пучка) на стороне, обращенной в топку, в зоне ядра факела.

2. Рыхлые отложения находятся обычно на участках со слабой циркуляцией и в отпусках труб вблизи от ввода питательной воды. Рыхлые отложения часто представляют собой прикипевший шлам.

3. Скопления шлама бывают (при недостаточной периодической продувке) в нижних барабанах, коллекторах экранов, грязевиках и других застойных местах.

4. Следы пены бывают только в паровом пространстве барабана. При выбросах пароводяных струй и пены через неплотности сепарационных устройств эти следы имеют вид отдельных языков на стенках барабана при сплошном пенообразовании — вид ровной полосы.

Отсутствие каких-либо следов пены еще не служит доказательством того, что забросов пены при работе котла не было, так как следы пены могут смыться котловой водой.

5. В сухопарниках, барабанах и коллекторах насыщенного и перегретого пара пароперегревателя отложения солей обычно не обнаруживаются, что не служит, однако, доказательством отсутствия солеотложений в пароперегревателе.

Соли отлагаются, как правило, в начале и середине змеевиков пароперегревателя в зоне, где происходит окончательное выпаривание влаги. Если у пароперегревателя есть средний коллектор, при его осмотре они могут быть обнаружены, а наличие солеотложений в змеевиках можно установить только путем вырезки и осмотра образцов (кусков) труб.

6. Отложение продуктов коррозии в виде равномерного бурого, красно-бурого или фиолетово-красного налета на поверхности водяного объема котла — результат их выноса с питательной водой из питательных труб и экономайзера котла.

7. Язвенная (питтинговая) коррозия, протекающая главным образом с участием кислорода, обнаруживается, как правило, в питательном тракте, во входных коллекторах и в начале змеевиков стальных экономайзеров. Концы змеевиков и выходные коллекторы водяных экономайзеров обычно не подвергаются кислородной коррозии или поражаются ею в значительно меньшей степени, так как кислород, поступающий с питательной водой, успевает израсходоваться в начале экономайзера. Известны случаи, когда при пульсирующем питании выходные витки кипящего водяного экономайзера подвергались по верхней образующей пароводяной коррозии с образованием желобков и свищей.

При отсутствии экономайзеров или при наличии чугунных экономайзеров, не подвергавшихся кислородной коррозии, кислород, содержащийся в питательной воде, достигает

котла и вызывает коррозию поверхностей водяного объема, главным образом, участков со слабой циркуляцией, вблизи входа питательной воды. Язвенная коррозия поверхностей парового объема встречается редко, она протекает при остановках.

Преимущественное расположение язв внизу внутренней поверхности барабанов, коллекторов, головок и других элементов котла — типичный признак стояночной коррозии, происходившей в результате плохого удаления воды из котла при его остановках.

Установленные при осмотре места отложений или коррозионных повреждений с указанием их площади, толщины, твердости, цвета отложений, глубины и диаметра язв и других показателей должны быть записаны в специальный журнал осмотра оборудования, а образцы отложений отобраны для анализа.

Отбор проб и анализ отложений производятся по специальной инструкции. Форма журнала или ведомости для учета и оценки состояния котла при осмотре приведена ниже.

Форма учета и оценки состояния котла при осмотре

Марка, тип агрегата
 Давление, МПа
 Характеристика пара (насыщенный, перегретый, температура перегрева)
 Паропроизводительность, т/ч
 Поверхность нагрева, м²:
 общая
 экономайзера
 экранов — радиационная
 кипяtilных пучков — радиационная
 то же конвективная
 пароперегревателя
 пароохладителя
 Размеры барабана: диаметр, мм
 длина, мм
 Диаметры, мм, коллекторов, экономайзерных труб, экранных, кипяtilных, пароперегревательных
 Наличие: внутрибарабанных паросепарационных устройств, выносных циклонов, ступенчатого испарения, перекрестной циркуляции и рециркуляции котловой воды между отсеками
 Паропроизводительность солевых отсеков в процентах общей
 Состояние при первичном осмотре нового котлоагрегата
 Дата

Проверяется наличие и правильность монтажа внутрибарабанных, продувочных устройств, устройств для отбора проб пара питательной и котловой воды, наличие автоматических регуляторов питания, продувка, контроль качества питательной и котловой воды. Определяется загрязненность внутренней поверхности котлоагрегата: барабана труб и др.

Состояние при повторных осмотрах эксплуатировавшегося агрегата

Дата предыдущего осмотра Дата настоящего осмотра Дата предыдущего капитального (аварийного) ремонта Объем проводившегося ремонта, очистка от отложений, способ Состояние агрегата при настоящем ремонте или перед очисткой

Отмечается отсутствие или наличие нарушений по сравнению с предыдущим осмотром.

Наличие, характеристика и количество (толщина) отложений продуктов коррозии, накипи, шлама, солей и т. п.

Результаты текущего осмотра сравниваются с результатами предыдущего осмотра, и дается оценка состояния котлоагрегата с точки зрения водного режима.

Записывается количество часов работы котлоагрегата за период между чистками или количество выработанного пара, т/цикл, а также средневзвешенное качество пара, питательной и котловой воды (жесткость, щелочность, солесодержание и др.), размер продувки.

2.15. Удаление отложений с внутренней поверхности нагрева паровых и водогрейных котлов, теплообменных аппаратов и трубопроводов

Состав отложений

Отложения представляют собой:

1) первичную накипь, выделяющуюся на наиболее нагретых и теплонапряженных участках поверхности нагрева, т. е. там, где в результате парообразования концентрирование солей-накипеобразователей в воде протекает наиболее интенсивно;

2) вторичную накипь прилипшие к поверхности металла частицы шлама, которые образовались в объеме котловой воды или были занесены в котел из питательного тракта. Обычно отложения этого вида образуются при низких скоростях движения воды и низких теплонапряжениях;

3) продукты коррозии металла; они либо входят в состав вторичных накипей, либо образуют первичные железистые или медные накипи.

В составе первичных накипей содержатся карбонат кальция CaCO_3 , сульфат кальция CaSO_4 , гидрат оксида магния $\text{Mg}(\text{OH})_2$; силикаты кальция.

В железистых накипях содержатся гематит Fe_2O_3 и магнетит Fe_3O_4 и как примеси силикаты и фосфаты кальция и магния, в том числе гидроксилпатит.

В медных накипях содержится CuO , в том числе до 50 % металлической меди, а также соединения кальция и магния, названные выше.

Опасность отложений. Все накипи вызывают ухудшение теплопередачи и, как следствие, увеличение пережога топлива и перегрева металла. При большой толщине накипи увеличивается сопротивление проходу воды, происходит нарушение циркуляции, что ведет к пережогу металла. Шлам, скапливающийся в нижних коллекторах, в опускных трубах и в трубах с малыми скоростями движения воды, также может вызвать нарушение циркуляции.

Особенно опасны скопления отложений на наиболее теплонатяженных участках поверхности нагрева (экраны в зоне ядра факела).

Наиболее легко растворимы в кислотах карбонатные, смешанные карбонатно-железистые и фосфатные отложения, более труднорастворимы сульфатные — CaSO_4 , силикатные — CaO , MgO , Fe_2O_3 , SiO_2 и очень трудно

растворимые SiO_2 , Fe_3O_4 . Обычно накипи являются смешанными и содержат соединения кальция и магния, оксиды железа, реже CuO , Cu , ZnO . Теплопроводность накипи зависит от ее структуры; наименее теплопроводны и потому наиболее опасны пористые и рыхлые отложения, имеющие теплопроводность 0,1 - 0,2 кВт/(м·ч·°C); плотные карбонатно-сульфатные накипи имеют теплопроводность 0,5 - 2 кВт/(м·ч·°C); более теплопроводны и менее опасны плотные отложения магнетита (Fe_3O_4) черного цвета со стекловидным изломом, прочно сцепленные с металлом, их теплопроводность 5 - 10 кВт/(м·ч·°C)

Наиболее интенсивно отложения растворяются в растворах соляной и серной кислот при $\text{pH} < 1$. Медленнее растворяются отложения в растворах органических кислот, комплексонов и углекислоты при значениях $\text{pH} = 2 \div 4$. Однако чем ниже pH , тем интенсивнее растворяются не только накипи и шламы, но и металл труб. Чтобы уменьшить растворение металла, применяют замедлители коррозии

Т а б л и ц а 2.9. Предельно допустимая загрязненность труб поверхности нагрева паровых водотрубных, барабанных и водогрейных котлов

Характеристика поверхности нагрева	Предельное значение местной удельной загрязненности внутренней поверхности, г/м ²	
	при радиационном обогреве * (с огневой стороны)	при конвективном обогреве **
Парогенерирующие трубы эксплуатируемых водотрубных барабанных паровых котлов при сжигании:		
доменного газа или твердого топлива в слое смеси доменного газа с угольной пылью,	800	1500
природным или коксовым газом	600	1200
угольной пыли	500	1000
природного или коксового газа [или при теплонатяжении $< 300\,000$ ккал/(м ² ·ч·°C)]	400	800
жидкого топлива или смеси его с природным газом [или при теплонатяжении $> 300\,000$ ккал/(м ² ·ч·°C)]	300	600
трубы котлов СРК и ОКГ	300	600
трубы эксплуатируемых водогрейных котлов	800	1250
парогенерирующая поверхность элементов систем испарительного охлаждения при температуре газов, °C:		
< 1200	800	
> 1200	500	
Трубы новых неэксплуатировавшихся паровых котлов	150	150
Трубы эксплуатировавшихся котлов после химических промывок	50 - 70	50 - 70

* Трубы экранов, фестона, первого-третьего рядов конвективного пучка, обращенные в топку (только огневая сторона) в районе ядра факела.

** Трубы второго-третьего конвективных пучков, экономайзера.

Опускные необогреваемые трубы эксплуатируемых паровых котлов должны иметь толщину отложений не более 4 - 5 мм.

Таблица 2.10 Сравнительные коэффициенты теплопроводности некоторых металлов, теплоизоляционных материалов и накипей

Вещество	Объемный вес, кг/м ³	Температура, °С	Коэффициент теплопроводности, λ , ккал/(м·ч·°С) [Вт/(м ² ·°С)]
Алюминий	2500—2700	0—200	180 (155)
Железо	7850	0—200	45—63 (39—54)
Сталь углеродистая	7850	0—200	37—39 (32—34)
Сталь хромистая нержавеющая	—	—	14—20 (12—17)
Чугун (3 % С)	7000—7700	0—300	40—43 (34—37)
Медь	8800—8900	0—200	320—330 (275—285)
Латунь	8100—8700	0—200	70—100 (60—86)
Бронза	8500	20	22—68 (48)
Цинк	6900—7300	0—200	90—97 (77—83)
Асбестовый картон	900	—	0,014—0,015 (0,071—0,073)
Бетон	2000	0	0,6—1,33 (0,52—1,4)
Бумага обыкновенная	—	20	0,12 (0,1)
Вата хлопчатобумажная	80	30	0,036 (0,031)
Гипс формованный	1250	20	0,37 (0,032)
Глина	1600—2000	20	0,6—0,8 (0,52—0,65)
Вата (минеральная, стеклянная, шлаковая)	150—250	100	0,044—0,05 (0,038—0,042)
Диатомит	400—500	—	0,08 (0,07)
Кирпич обыкновенный	1800	0	0,6—0,7 (0,52—0,6)
Кирпич шамотный и диасовый	1800—1950	1350—1700	0,7—0,8±0,0006 (0,6—0,65)
Котельная накипь:			
гипсовая	1000—2700	100	0,6—2,0 (0,52—1,7)
известковая	1000—2500	100	0,13—2,0 (0,11—1,7)
силикатная	300—2500	100	0,07—0,2 (0,06—0,17)
Мел	2000	50	0,8 (0,7)
Песок речной	1500	0—160	0,3 (0,26)
Слюда поперек слоев	2600—3200	20	0,4—0,5 (0,35—0,4)
Стекло обыкновенное	2500	20	0,64 (0,55)
Шлак котельный	1000	0	0,25 (0,23)
Шлак доменный гранулированный	500	0	0,13 (0,11)
Штукатурка	1600—1800	0	0,6—1,0 (0,52—0,86)

ингибиторы-пассиваторы. Соляная, сульфаминовая, а также другие органические кислоты пригодны для растворения всех накипей; серная кислота годится только для растворения накипи, не содержащей Ca^{2+} (опасность выпадения CaSO_4).

В табл. 2.9 приведены данные для оценки загрязненности внутренней поверхности нагрева паровых и водогрейных котлов.

Загрязнения эксплуатируемых труб систем теплоснабжения и горячего водоснабжения не должны увеличивать суммарные потери напора во всей системе более чем на 0,1 МПа при нормальных, расчетных (максимальных) расходах воды.

Таблица составлена по материалам ЦКТИ: РТМ 108. 030. 114—77, РТМ 108. 030. 119—77, РТМ 108. 030. 11—81, ОСТ 108. 034. 03—81 и по нормам расхода реагентов для предпусковых и эксплуатационных промывок НР-34-70-068-83 СПО «Союзтехэнерго», 1985 г.

Согласно «Методике контроля состояния

оборудования...» при комплексной обработке питательной воды (в НРЧ газомазутных котлов СКД) количество отложений допускается в 2—2,5 раза большим, чем при традиционном (фосфатном) режиме, т. е. когда при низкой жесткости питательной воды (менее 1 мкг-экв/л) отложения состоят на 90 % и более из плотных оксидов железа, преимущественно из Fe_3O_4 .

В табл. 2.10 приведены коэффициенты теплопроводности различных металлов, материалов и отложений.

Коэффициенты теплопроводности, Вт/(м·К), при температурах 100—300 °С для следующих веществ (по данным ЦКТИ) приведены ниже:

Al_2O_3	30—18	} при нулевой пористости
CaO	15—10	
MgO	36—22	
SiO_2	12—10	
Fe_2O_3	9,0—4,6	
Fe_3O_4	4,0—3,5	
Fe_3O_4	0,24 при 56 % пористости	

Растворимость отложений. Наиболее легко (относительно быстро, при меньших концентрациях реагентов, при более высоком значении pH при более низких температурах) растворяются карбонатные отложения, содержащие CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$, несколько менее растворимы продукты атмосферной коррозии (ржавчина Fe_2O_3) и наносные шламы, содержащие оксиды железа (Fe_2O_3 , Fe_3O_4).

Труднорастворимы отложения, содержащие силикаты (CaO , MgO , SiO_2) и органические соединения. Еще более труднорастворим магнетит, образовавшийся на поверхности пароперегревательных труб при температурах выше 400—500 °C в результате пароводяной коррозии стали, черного цвета с металлическим блеском, раковистым стекловидным изломом и весьма прочно сцепленный с металлом.

При обработке загрязненных поверхностей кислотами и другими моющими растворами происходит разрушение труднорастворимых составных частей отложений пузырьками водорода и углекислоты, которые образуются в результате химического взаимодействия отложений с кислотными реагентами. Выделяющийся водород взрывоопасен; поступая в воздух, он может образовывать гремучую смесь, и потому необходимо постоянно удалять все газы, выделяющиеся при химической промывке котла, из барабанов и из баков моющего раствора, а также не допускать огня, искрения вблизи промываемого котла и промывочной установки.

Отложения распределяются по поверхности нагрева неравномерно, более интенсивно — на обогреваемой поверхности, состав и растворимость их весьма различны. Участки поверхности нагрева, с которых уже удалена накипь, подвергаются сильному коррозионному воздействию кислотных моющих растворов.

Химические кислотные промывки наиболее пригодны для стальных котлов со сварными или вальцовочными соединениями и с фланцевыми соединениями арматуры.

Для чугунных котлов, имеющих резьбовые соединения или лючковые затворы на коллекторах, применение химических промывок сильными кислотами (HCl , H_2SO_4) при $\text{pH} \approx 1,0$ нежелательно. Для таких котлов более приемлемы растворы органических кислот с $\text{pH} = 2 \div 4$ или растворы комплексонов, которые менее опасны с точки зрения разъедания металла в резьбовых соединениях и лючковых затворах.

Следует также указать, что чугун более стоек к кислородной или углекислотной коррозии по сравнению со сталью только тогда, когда поверхность его покрыта коркой литейных оксидов. Обработанная же поверхность

чугуна корродирует сильнее, чем поверхность стали, и быстрее разрушается.

Условно-расчетная загрязненность тепло-технического оборудования отложениями при заказе реагентов для химических промывок принимается для барабанных паровых котлов производительностью до 20, 50, 100 и 320 т/ч соответственно равной 1500, 1200, 900 и 650 г/м², для стальных водогрейных котлов теплопроизводительностью 35—210 ГВт/ч 1250, для чугунных, секционных паровых и водогрейных котлов низкого давления 1500, для конденсаторов паровых турбин и теплообменников с латунными трубками 1250 г/м².

Важнейшие реагенты для удаления отложений из водогрейных и паровых котлов низкого и среднего давлений

1. Соляная кислота техническая и ингибированная.
2. Серная кислота контактная, техническая.
3. Сульфаминовая кислота.
4. Концентрат или конденсат низкомолекулярных органических кислот (НМК).
5. Трилон Б этилендиаминтетрауксуснокислый натрий (ЭДТ Na_2).
6. Фторид натрия или бифторид аммония.
7. Силикат натрия (жидкое стекло или силикат-глыба).
8. Щелочные реагенты: едкий натр, кальцинированная сода, тринатрийфосфат, бикарбонат натрия (двууглекислая сода), аммиак, известь.
9. Нитрит натрия — азотистокислый натрий.
10. Пеногаситель — смесь дикарбоновых кислот C_5 — C_6 .
11. Ингибиторы: уротропин, ПБ-5, тиомочевина, тиосульфат натрия, ОП-7, ОП-10, каптакс, катапин.

Подробнее сведения о реагентах см. в приложениях П. 1 и П. 13.

Серная кислота может применяться только при отсутствии в котле кальциевых накипей, т. е. содержащих CaCO_3 .

Для предпускового щелочения водогрейных и паровых котлов с давлением до 4 МПа применяются:

	Для новых	Для загрязненных
Едкий натр NaOH твердый 95—100%-ный, кг/м ³	5	8
Тринатрийфосфат $\text{NaPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, кг/м ³	3	5

Только для котлов н. д.

Сода кальцинированная Na_2CO_3 безводная, кг/м ³	7,5	12
Серная кислота 94—95%-ная для нейтрализации сбрасываемых щелочных растворов, если они повторно не используются, кг/м ³	6,5	10

Виды основных моющих растворов и режимы их применения. 1. Соляная кислота техническая — 2–6 % HCl , уротропин — 0,8–1,2 %, дикарбоновые кислоты C_5 – C_6 — 0,02–0,05 % (только при содержании в отложениях более 10 % CaCO_3), температура $60 \pm 5^\circ\text{C}$; продолжительность 6–8 ч.

Пригоден как для промывки травлением, так и при циркуляционной.

2. Соляная кислота ингибированная — 2–6 % HCl , уротропин — 0,5 %, дикарбоновые кислоты C_5 – C_6 — 0,02–0,05 %. Все остальные условия те же, что и у раствора 1; при наличии в отложениях более 10 % SiO_2 в воде 1 % NaF .

3. Сульфаминовая кислота — 2–3 % HSO_3NH_2 , моющее средство ОП-7 или ОП-10 — 0,1 %, каптакс — 0,02 %, температура $95 \pm 5^\circ\text{C}$, продолжительность 6–7 ч.

4. Низкомолекулярные кислоты (НМК) 7–10 % в пересчете на уксусную кислоту, моющее средство ОП-7 или ОП-10 — 0,1 %, температура $90 \pm 5^\circ\text{C}$, продолжительность 6–8 ч.

НМК рекомендуется в основном для удаления карбонатных отложений из паровых и водогрейных котлов, трубопроводов тепловых сетей и теплообменников с латунными трубками.

5. Растворы для щелочения и нейтрализации

NaOH	2–3 %
или Na_2CO_3	3–5 %
или смесь $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{CO}_3$	по 2,5 %
или аммиак	до 1 % или до $\text{pH} = 10 \div 10,5$.

Все растворы без аммиака можно кипятить.

6. Растворы для пассивации промытой поверхности, особенно при намечаемом простое котлов в резерве: метасиликата натрия Na_2SiO_3 — 0,5 % при 60 – 80°C , нитрита натрия NaNO_2 — 1 % с аммиаком — 0,5 % при 50 – 55°C , аммиака 0,5 % при 60 – 80°C (при простое не более 5 сут).

Общие указания по проведению промывок. 1. Карбонатные отложения, содержащие CaCO_3 и оксиды же-

леза до 80 %, не более 10 % SiO_2 и не более 7 % меди:

водная промывка, удаление скоплений шлама из нижних барабанов и коллекторов; основная кислотная промывка ингибированной HCl (3,5–6 %) с добавлением 0,5 % уротропина и 0,02–0,05 % дикарбоновых кислот при температуре до 70°C в течение 6–8 ч методом локального травления (четыре–шесть заполнений-сбросов) или методом циркуляции со скоростью не менее 0,3 м/с. Концентрация HCl в зависимости от паропроизводительности котла: до 100 т/ч — 6 %, более 100 т/ч — 5 %, при предпусковой промывке — не более 3 %;

водная промывка до $\text{pH} > 8,5$, иногда с добавкой NH_3 ;

щелочение 0,5 % NaOH при t до 90°C или кипячение с огневым обогревом;

пассивация — 0,5 % Na_2SiO_3 при 60 – 80°C для паровых и водогрейных котлов производительностью до 100 т/ч.

2. Отложения, содержащие более 10 % SiO_2 и более 10 % органических соединений: предварительная кислотная промывка ингибированной HCl (4 % HCl при температуре до 70°C);

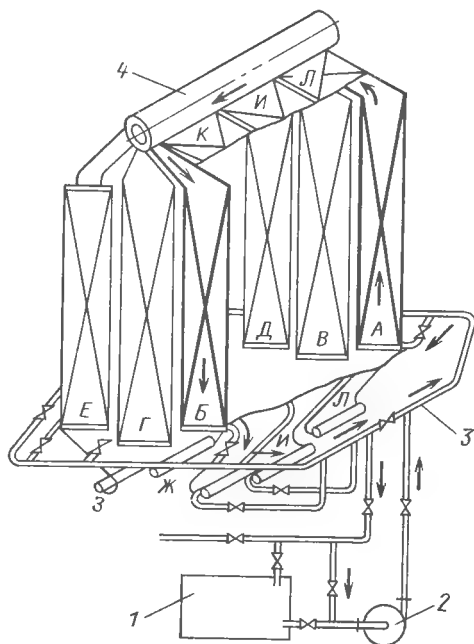


Рис. 2.18. Схема циркуляции моющего раствора по панелям при химической промывке барабанного парового котла:

1 — бак; 2 — циркуляционный насос; 3 — промывочное кольцо; 4 — барабан; А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, З, И, К и Л — отдельные панели с коллекторами

щелочение 2 % NaOH при огневом обогреве и температуре до 200 °С со снижением давления;

водная промывка до $\text{pH} \leq 8$;

основная кислотная промывка 3,5–6 % $\text{HCl}_{\text{инг}}$ с прибавлением 0,5 % уротропина и 1 % NaF и 0,2 % дикарбоновых кислот при очистке паровых и водогрейных котлов при отложениях карбонатной накипи в количестве более 1000 г/м²;

дренирование моющего раствора и водная промывка с добавкой в конце ее аммиака до $\text{pH} = 9 \div 10$, или

щелочение 0,5 % NaOH при 90 °С, или щелочение 2 % NaOH при температуре до 200 °С и огневом обогреве при содержании в отложениях более 10 % CaSO_4 или SiO_2 ,

дренирование щелочного раствора в бак; пассивация 0,5 %-ным раствором метасиликата натрия при 60–80 °С в течение 4–8 ч.

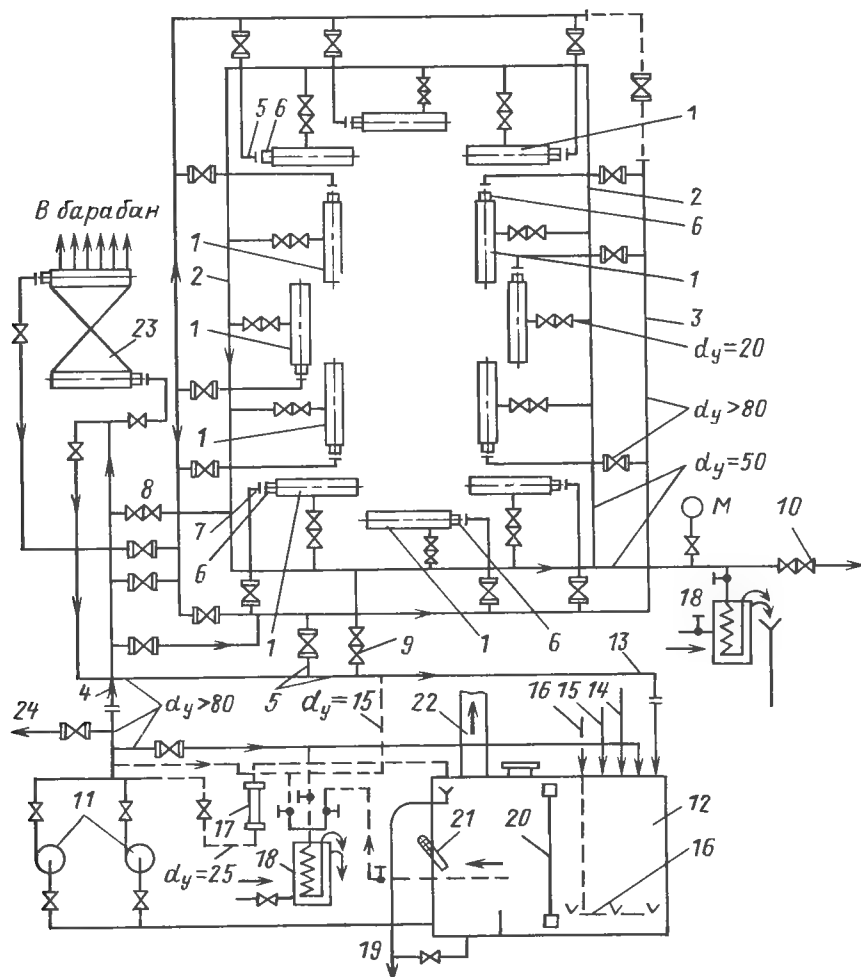


Рис. 2.19. Схема химической циркуляционной промывки мощного парового котла:

1 — нижние коллекторы экранов; 2 — продувочный коллектор; 3 — промывочное «кольцо»; 4 — подвод моющего раствора в «кольцо»; 5 — отвод моющего раствора из «кольца» в бак; 6 — приварные стаканы нижних коллекторов; 7 — приварные отводы к стаканам от промывочного «кольца»; 8 — подача моющего раствора в продувочный коллектор; 9 — отвод моющего раствора от продувочного коллектора; 10 — продувка нижних коллекторов в барботер; 11 — циркуляционные промывочные насосы; 12 — бак моющего раствора; 13 — слив моющего раствора из котла; 14 — подвод концентрированных растворов реагентов в бак 12; 15 — подвод воды; 16 — подвод пара; 17 — контрольный патрон (см. рис. 2.24); 18 — холодильник для отбора проб; 19 — перелив и опорожнение бака 12; 20 — водомерное стекло; 21 — термометр; 22 — выход газов из бака 12; 23 — водный экономайзер; 24 — откачка отработанного моющего раствора на нейтрализующую установку в систему ГЗУ или в котлован-накопитель

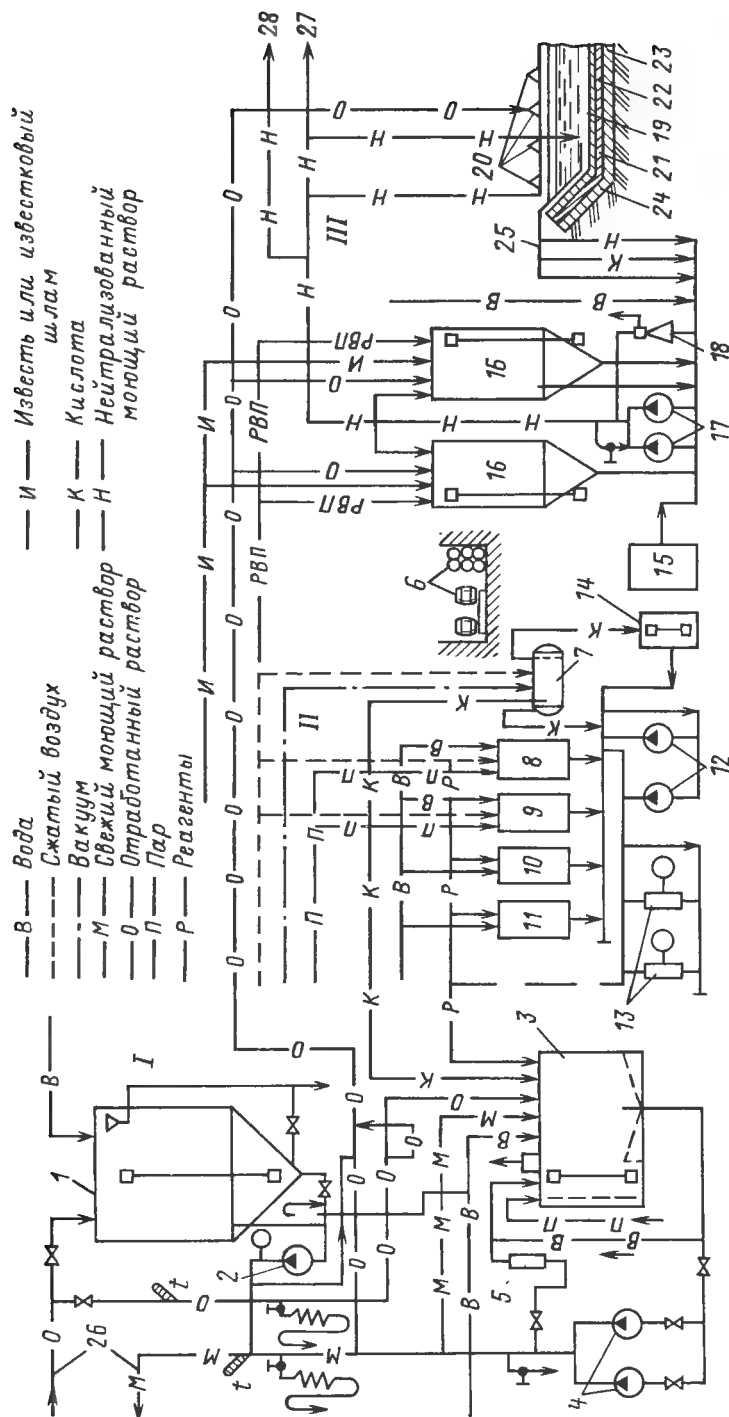
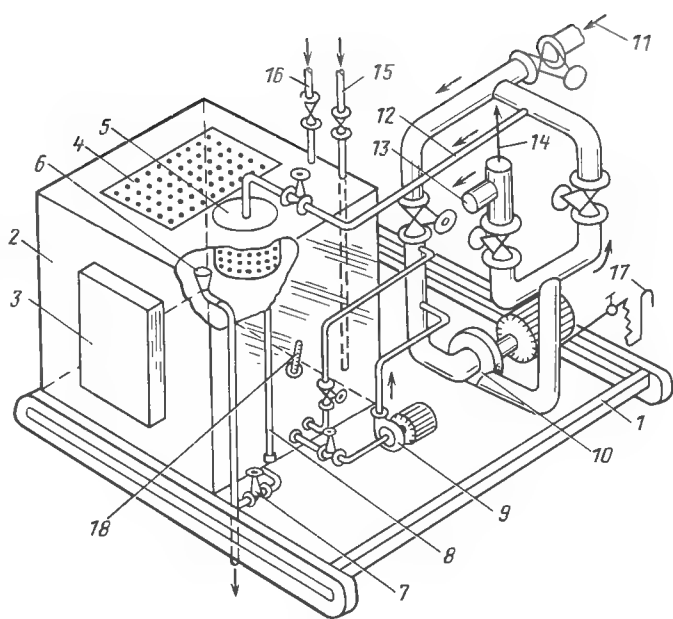


Рис. 2.20. Полная схема установки для промывки паровых котлов с реагентами, нейтрализационно-обезвреживающей установкой и котлованом-накопителем:

1 — оборудование, находящееся в котельной; 11 — реактеное хозяйство; 111 — нейтрализационно-обезвреживающая установка с земляным котлованом-накопителем; 1 — бак для приема воды из котла, $v_0 = 1.2 \text{ м}^3$; 2 — насос для подачи воды в котел; 3 — бак для приготовления рабочих растворов мощных реагентов, $v = 20 \div 25 \text{ м}^3$; 4 — циркуляционные промывочные насосы; 5 — патрон; 6 — склад для реагентов (NH_3 , NaOH , Na_2CO_3 , Na_3PO_4 , N_2H_4 , NaNO_2 , трилон-Б, органические кислоты, ингибиторы); 7 — цистерна для кислоты (HCl , H_2SO_4); 8—11 — баки-растворители для приготовления крепких растворов мощных реагентов; 12 — насосы для крепких растворов; 13 — дозирующие кислотоупорные насосы НД-2500/10; 14 — мерник для кислоты; 15 — хлораторная установка; 16 — бак-нейтрализатор ($V = 150 \div 300 \text{ м}^3$); 17 — циркуляционные насосы; 18 — эжектор для подсоса воздуха; 19 — котлован; 20 — коллектор с разбрызгивающими насадками; 21 — слой крупного гравия-щебня толщиной $200-300 \text{ мм}$; 22 — слой песка толщиной $200-300 \text{ мм}$; 23 — слой водоупорной (жирной) глины (под ним полиэтиленовая пленка для повышения водонепроницаемости); 24 — грунт; 25 — водозабор; 26 — вход и выход мощных растворов к паровому котлу; 27 — сброс в ГЗУ; 28 — сброс очищенной воды в водоем, на градири или на ВПУ; РВП — обмывочные воды РВП

Рис. 2.21. Схема передвижной установки для промывки от накипи теплообменных аппаратов: 1 — рама-салазки; 2 — бак ($V=5\div 6\text{ м}^3$); 3 — электрощиток; 4 — крышка с отверстиями для выпуска газов; 5 — корзина с отверстиями; 6 — перелив; 7 — выпуск раствора из бака ($d, 80$); 8 — водомерное стекло; 9 — малый кислотоупорный насос (типа 3—Х12к=1, $Q=45\text{ м}^3/\text{ч}$; $N=21\text{ м. вод. ст.}$, $d, 75\text{ мм}$); 10 — циркуляционный насос; 11 — подача моющего раствора из промываемого аппарата к насосу; 12 — слив части раствора в бак; 13, 14 — подача раствора в промываемый аппарат; 15 — подвод пара в бак ($d, 50\text{ мм}$); 16 — подвод воды в бак ($d, 50\text{ мм}$); 17 — отбор проб; 18 — термометр



3. При содержании в отложениях более 7 % меди:

предварительная кислотная обработка 1,5 % HCl при 50 °С;

замена моющего раствора свежим;

основная кислотная промывка 3,5—6 % HCl при 70 °С с добавкой 0,4 % тиомочевины; водная отмывка;

щелочение 1 % NH_3 с 0,5 % персульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ или 0,5 % NaNO_2 при 40—50 °С;

водная отмывка;

пассивация 0,5 %-ным раствором Na_2SiO_3 при 60—80 °С для котлов с производительностью до 100 т/ч или 1 % NaNO_2 с 0,5 % NH_3 при 50—55 °С.

Контроль за ходом промывки — процессом растворения отложений — ведется путем определения в моющем растворе концентрации свободного основного реагента-растворителя HCl, H_2SO_4 , НМК, $\text{HSO}_3\cdot\text{NH}_2$ -комплексона — ЭДТК (ЭДТNa_2) или кислотности. В период промывки убыль основного реагента пополняют, а температуру моющего раствора поддерживают в пределах 60—75 °С паровым или огневым подогревом. Промывка считается законченной, когда концентрация основного реагента — растворителя стабилизируется на уровне 25—30 % начальной его концентрации без добавки свежего реагента.

За ходом промывки котла наблюдают также по растворению отложений на контрольном образце, вырезанном из труб поверхностей нагрева, находящихся в наиболее тяжелых условиях работы (большая толщина отложе-

ний, высокие теплонпряжения, высокая концентрация примесей — Fe, Cu, SiO_2 — в зоне ядра факела или вблизи поверхности горения слоевой топki, а также из солевых, продувочных отсеков).

Промывка с циркуляцией должна проводиться со скоростями моющего раствора не менее 0,3 м/с, для чего промывка ведется по отдельным панелям попарно или поочередно (рис. 2.18).

При промывках травлением с подогревом проводится пять — семь «качаний» (спуск моющего раствора и снова наполнение им или всего котла, или только промываемых элементов-панелей, не достигая верхнего барабана) при общей продолжительности не более 7 8 ч; при промывках без подогрева проводится 8—10 «качаний» при общей продолжительности не более 10—12 ч.

Когда невозможна остановка котлов для нормальной химической — кислотной очистки от отложений, следует периодически прибегать к удалению отложений «на ходу» путем ввода в котловую воду ЭДТ Na_2 — трилона Б, при этом котел желательно эксплуатировать с понижением нагрузки и давления и при увеличении продувки не менее чем до 3—5 %. Концентрация в котловой воде трилона Б поддерживается 100—200 мг/л, и $\text{pH} > 9,5$.

В случае, если концентрация основного моющего реагента стабилизируется раньше, например через 4—5 «качаний», то промывку прекращают, отработанный моющий раствор сливают из котла, а котел промывают водой, щелочат и пассивируют, как это указано вы-

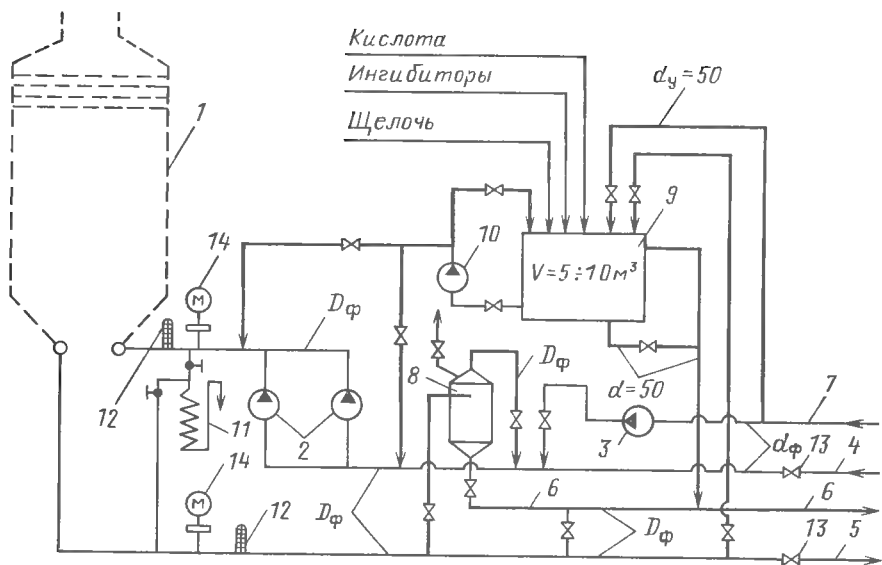


Рис. 2.22. Схема химической промывки водогрейного котла:

1 — котел; 2 — сетевые насосы; 3 — подпиточный насос; 4 — обратная сетевая вода; 5 — прямая сетевая вода; 6 — сброс моющих растворов и промывочной воды; 7 — подпиточная вода; 8 — грязевик-циклон; 9 — бак для приготовления концентрированного моющего раствора; 10 — насос для подачи моющего раствора во всас сетевых насосов; 11 — холодильник для отбора проб моющего раствора со змеевиком из нержавеющей стали; 12 — термометры; 13 — главные задвижки (заглушки); 14 — манометры с разделительной мембраной; D_ϕ , d_ϕ — фактические диаметры труб

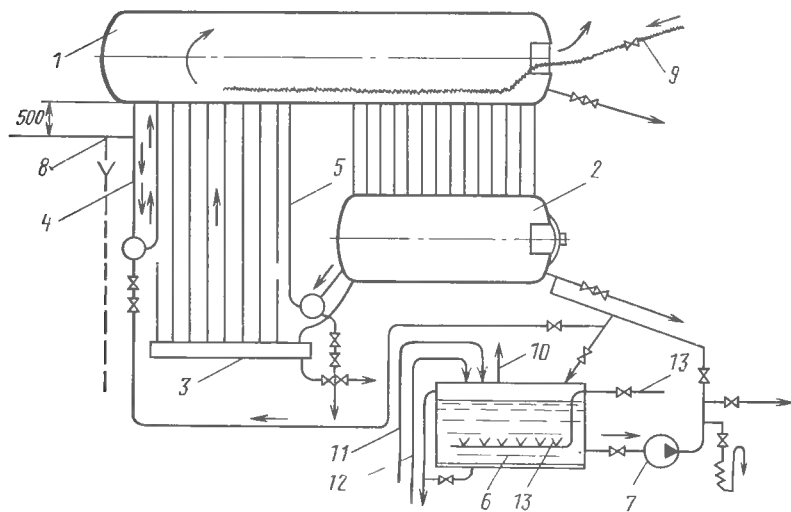
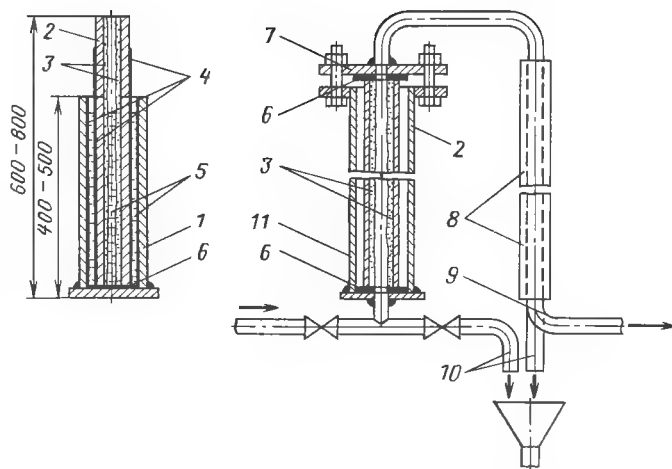


Рис. 2.23. Схема химической промывки котла ДКВР методом «отравления»:

1 — верхний барабан; 2 — нижний барабан; 3 — нижний коллектор бокового экрана; 4 — фронтальный экран с нижним коллектором; 5 — задний экран с нижним коллектором; 6 — бак для приготовления рабочего моющего раствора; 7 — перекачивающий насос; 8 — контрольная трубка; 9 — шланг для подвода сжатого воздуха; 10 — выход газов из бака 6; 11 — подвод технической воды; 12 — подвод концентрированных растворов реагентов (HCl , ингибиторы, щелочи); 13 — подвод пара в барботер

Рис. 2.24. Стакан и патрон для контроля за ходом кислотной промывки:

1 — стакан; 2 — кусок трубы с отложениями, вырезанный из парового котла; 3 — слой отложений; 4 — слой лака; 5 — уровень кислоты; 6 — резиновая прокладка; 7 — прижимной фланец; 8 — резиновый шланг; 9 — отвод кислоты в бак; 10 — отвод кислоты на слив; 11 — патрон



ше. Если за указанный период 7 8 и 8—12 ч концентрация основного реагента не стабилизируется, моющий раствор из котла сливают, промывают его водой и повторяют кислотную промывку, как указано выше.

Схемы и оборудование для химических промывок котлов от отложений. На рис. 2.19—2.23 приведены схемы коммуникаций котлов и промывочных установок: собственно котла с промывочной установкой (рис. 2.19), промывочной установки с реагентным хозяйством и нейтрализующей — обезвреживающей установкой (рис. 2.20), передвижной промывочной установки (рис. 2.21), циркуляционной промывки водогрейного котла (рис. 2.22), промывки котла ДКВР — без циркуляции методом «травления» (рис. 2.23).

На рис. 2.24 показаны стакан и патрон для контроля за ходом кислотной промывки контрольного образца, вырезанного из наиболее теплонапряженных труб поверхности нагрева.

га окружающей сре,

Мероприятиями по защите окружающей среды являются следующие:

- сокращение расходов воды на собственные нужды ВПУ и энергообъекта, сокращение продувки котлов;

- сокращение расходов реагентов на обработку воды;

- выделение из сточной воды наиболее загрязненной части и отдельная обработка ее;

- выделение из обрабатываемой исходной или сточной воды загрязнений по возможности в твердом виде $[\text{CaCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2]$, пригодном для повторного использования или вывоза и складирования;

- сбор, очистка и повторное использование

очищенных и неочищенных всех сточных вод ВПУ и энергообъекта как внутри, так и вне энергообъекта.

Переделки схемы и оборудования ВПУ, необходимые для сокращения количества и загрязненности сточных вод и их повторного использования в целях уменьшения расходов соли и воды на собственные нужды, показаны на рис. 2.25 и в табл. 2.11.

Виды сточных вод ВПУ и энергообъектов

1) Вода после прямоточного охлаждения. Химический состав не меняется, повышается температура, может быть использована наравне с исходной везде, где не играет роль повышенная температура или она желательна (на ВПУ).

2) Продувочная вода циркуляционных систем. Содержание растворенных веществ повышается на 10—50%, содержание свободной CO_2 устойчиво снижается до 3—8 мг/л, температура на 5—10 °С.

3) Сбросные воды основного корпуса энергообъекта. Химический состав примесей практически не меняется по сравнению с исходной, температура несколько выше. Могут быть загрязнены небольшими количествами масел от подшипников вращающихся механизмов. В ряде случаев возможно использование в качестве добавки к охлаждающей воде циркуляционных систем, а также для других целей.

4) Сбросные воды мазутных хозяйств. Количество невелико, температура выше исходной, возможны залповые попадания мазута. Химический состав практически не меняется. Возможно использование вод после удаления мазута в отстойниках-ловушках в зависимости от эффективности удаления мазута.

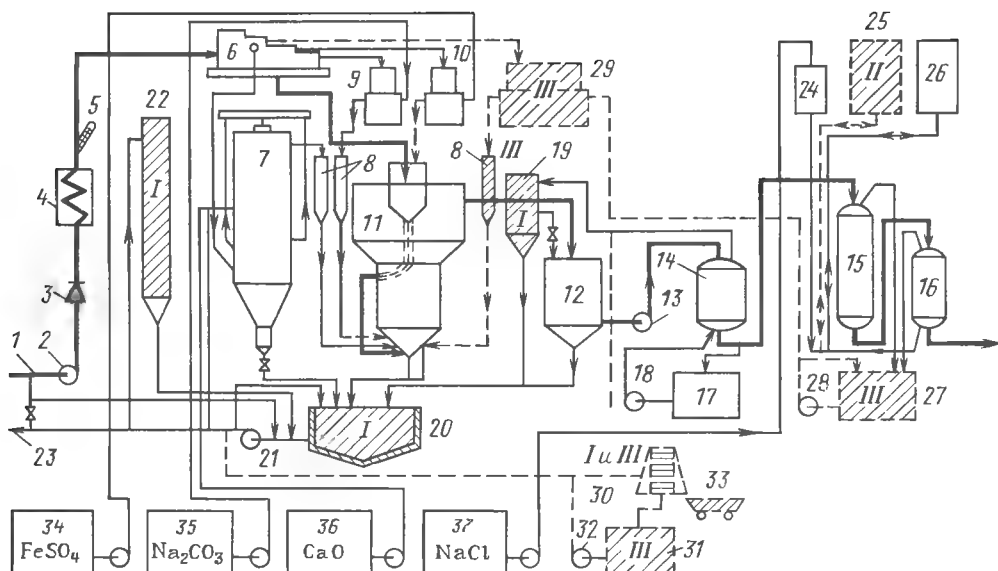


Таблица 2.11. Сравнительная таблица расхода реагентов и

№ п/п	Схема обработки воды	Предочищенная или исходная вода			Химически обработан- ная вода		Дозы реагентов на обрабатываемую воду			
		Соле-содер- жание, мг/л	Жесткость общая, мг-экв/л	Щелочность общая, мг-экв/л	Соле-содер- жание, мг/л	Щелочность общая, мг-экв/л	FeSO ₄	CaO	Na ₂ CO ₃	NaCl
							мг-экв/л			г/г-экв г/м ³
1	Прямоточное На-ка- тионирование обычное	266	3,75	3,35	280	3,35				180 675
1a	То же с повторным использованием ОРС	266	3,75	3,35	280	3,35				120 450
2	Фильтрование — На- катионирование (обыч- ное)	266	3,75	3,35	280	3,35		-		180 675
2a	То же с повторным ис- пользованием ОРС	266	3,75	3,35	280	3,35		—		120 450
3	Известкование — от- стаивание — фильтро- вание — На-катионир- ование (обычное)	190	1,4	1,0	200	1,0	—	5,0	—	180 250
3a	То же с повторным ис- пользованием ОРС для регенерации	190	1,4	1,0	200	1,0		5,0	—	120 216
4	Коагуляция — содоиз- весткование — отстаи- вание — фильтрова- ние — На-катиониро- вание	200	0,7	1,2	210	1,2	0,5	5,0	0,9	180 125
4a	То же с повторным ис- пользованием ОРС для регенерации	200	0,7	1,2	210	1,2	0,5	5,0	0,9	120 108
5	То же с возвратом всех сточных вод в осветли- тель	325	0,7	1,2	350	1,2	0,5	5,0	0,9	180 125

Рис. 2.25. Схема установки для обработки добавочной воды с уменьшенным расходом соли и воды на собственные нужды:

I — первоочередное оборудование для использования сточных вод предочистки; II — оборудование для повторного использования отработанного раствора соли в целях сокращения расхода ее; III — оборудование для возврата всех сточных вод Na-катионитных фильтров в осветлитель, умягчения их вместе с исходной водой и обезвоживания шлама — $\text{CaCO}_3 + \text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{Fe}(\text{OH})_3$; 1 — исходная вода; 2 — насос исходной воды; 3 — расходомер; 4 — подогреватель; 5 — термометр-терморегулятор; 6 — распределитель воды типа «Струя»; 7 — сатуратор для получения прозрачного насыщенного известкового раствора; 8 — воздухоотделитель; 9 — поплавковый дозатор для содового раствора; 10 — поплавковый дозатор для раствора коагулянта; 11 — осветлитель (ЦНИИ—ВТИ); 12 — сборник отстоенной воды; 13 — насос отстоенной воды; 14 — осветлительный (механический) фильтр; 15 — Na-катионитный фильтр I ступени; 16 — Na-катионитный фильтр II ступени; 17 — бак промывочной воды осветлительных фильтров; 18 — насос промывочной воды; 19 — сборник шламовой промывочной воды; 20 — нижний шламовый сборник; 21 — шламовый насос; 22 — шламоотстойник-сгуститель; 23 — откачка сгущенного шлама; 24 — бак свежего раствора соли; 25 — бак отработанного раствора соли; 26 — бак отмывочной — взрывающей воды; 27 — сборник отработанного раствора соли и отмывочной воды Na-катионитных фильтров; 28 — насос для перемешивания и откачки смеси отработанного раствора соли и отмывочной воды; 29 — поплавковый дозатор для смеси отработанного раствора соли и отмывочной воды; 30 — фильтр-пресс для обезвоживания шлама; 31 — сборник фильтрата после фильтр-пресса; 32 — насос для фильтрата; 33 — тележка для плотного шлама; 34—37 — реагентные хозяйства для FeSO_4 , Na_2CO_3 , CaO , NaCl

сброса загрязненных сточных вод при различных схемах обработки воды

Сбросы по ВПУ										Продувка котлов, л на 1 м ³ исходной воды		Общий сброс по ВПУ и котельной	
шлама			растворенных солей, г/м ³			воды, л/м ³							
безводного, г/м ³	50%-ной влажностн, г/м ³	95%-ной влажностн, г/м ³	со шламом 95%-ной влажностн	со сточными водами	всего	со шламом	со сточной водой	всего	Объем, л/м ³	Содержание солей, г/м ³	воды, л/м ³	растворенных солей, г/м ³	
—	—	—	—	675	675	—	63,0	63,0	100	280	163,0	955	
—	—	—	—	450	450	—	60,0	60,0	100	280	160,0	730	
25	50	500	—	675	675	0,5	133,0	133	100	280	233	955	
25	50	500	—	450	450	0,5	60	60	100	280	160	730	
460	920	9200	1,8	250	250	8,75	133	133	80	200	210	450	
460	920	9200	1,8	215	215	8,75	30	38	80	200	115	420	
540	1080	10 800	2,0	215	215	10,3	85	95	80	200	170	325	
540	1080	10 800	2,0	107	107	10,3	15	25	80	200	105	308	
600	1200	12 000	3,5	—	3,5	10,3	—	10	130	325	140	335	

5) Обмывочные воды котлов и РВП. В связи с повышением содержания растворенных (кислых или щелочных) примесей повторное использование невозможно. Должны направляться в систему ГЗУ или в заводские шламохранилища. Обмывочные воды поверхности нагрева котлов и РВП при отоплении мазутом должны обрабатываться щелочными реагентами (NaOH , CaO) для выделения вадания (V_2O_5) в осадок вместе с $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

6) Воды систем ГЗУ после осветления на картах должны повторно использоваться в системе ГЗУ. Они насыщены CaSO_4 , содержат Na_2SO_4 и др. соли и кроме транспортировки солей ни для чего другого непригодны. Весьма часто при щелочном характере солей происходит загрязнение шламопроводов, очистка их от отложений весьма затруднительна и часто зависит от меняющихся свойств — состава отложений (механическое удаление, растворение в минеральных кислотах и в воде, насыщенной углекислотой).

7) Сбросные моющие растворы и отмывочные воды после химических промывок котлов и сбросные консервационные растворы. После нейтрализации известью, разрушения хлором окисляющихся веществ (NaNO_2 , комплексоны, ингибиторы и др.) сбрасываемые воды направляют в земляные котлованы, где происходит осветление воды и ее аэрация, после чего стоки постепенно сбрасывают в общественные водоемы, не допуская, однако, ухудшения качества воды в них сверх норм. Возможна подача осветленных нейтрализованных вод в небольших количествах в циркуляционные системы для окисления примесей воздухом в охлаждающих устройствах.

8) Сбросные воды предочисток — осветлителей и осветлительных фильтров — содержат взвесь и могут после отстоя снова направляться на осветлительные фильтры, а без отстоя — равномерно в осветлители. Шлам из продувки осветлителей должен направляться для обезвоживания на вакуумные фильтры или фильтр-прессы. Обезвоженный осадок, содержащий 40–50 % CaCO_3 , может быть после высушивания направлен для прокаливания и регенерации CaO , причем последняя получается в большем количестве, чем необходимо для известкования воды.

9) Сбросные растворы после На-катионитных фильтров ВПУ производительностью больше $50 \text{ м}^3/\text{ч}$ должны быть использованы следующим образом: первые 30 % объема отработанного раствора, содержащего основную массу CaCl_2 , MgCl_2 и часть NaCl , сбрасываются в канализационную систему ГЗУ и др.; последующие 70 % объема отработанного раствора, содержащего значительные количества NaCl и намного меньше хлоридов каль-

ция и магния, собираются и используются повторно для предварительной регенерации следующего фильтра.

10) Отмывочные воды после регенерации На-катионитных фильтров используются для взрыхления и предварительной отмывки отрегенированного На-катионита.

11) Последние порции отмывочных вод На-катионитных фильтров, имеющие жесткость ниже жесткости исходной воды и небольшой избыток ионов Cl^- ($< 30 \text{ мг/л}$), могут быть возвращены в бак предочищенной воды и повторно направлены для умягчения на На-катионитные фильтры. Умягченная вода после отключения фильтра, имеющая жесткость выше допустимой (использование «хвостовой» обменной способности), также может быть направлена в бак предочищенной воды и затем на На-катионитные фильтры.

12) Отработанный раствор серной кислоты после регенерации Н-катионитных фильтров: первые порции являются обычно пересыщенным раствором по CaSO_4 , твердая фаза которого может выпадать из раствора. Для использования и нейтрализации содержащейся в растворе свободной серной кислоты раствор должен быть направлен в предвключенный Н-катионитный фильтр. При «голодной» регенерации Н-катионитных фильтров отработанный раствор практически не содержит свободной серной кислоты и повторно может быть использован в системе ГЗУ для транспортировки солей. Отмывочные воды Н-катионитных фильтров при невысокой жесткости (ниже исходной) могут быть использованы повторно при регенерации и отмывке фильтров.

Схемы ионитных установок производительностью более $50 \text{ м}^3/\text{ч}$ должны предусматривать сбор, хранение и повторное использование отработанных регенерационных растворов и отмывочных вод в целях сокращения расходов реагентов и воды на собственные нужды.

Продувочные воды паровых котлов, ТУПГ, испарителей, паропреобразователей должны использоваться в первую очередь для питания менее требовательных парогенерирующих установок меньшего давления, допускающих более высокое солесодержание упариваемой воды. Во вторую очередь продувочные воды могут быть использованы в расширителях для получения вторичного пара и в теплообменниках в целях экономии теплоты и воды. В третью очередь продувочные воды после выделения вторичного пара и использования тепла могут быть использованы для подпитки закрытых теплосетей, изолированных от систем горячего водоснабжения, для растворения поваренной соли, при конденсатном режиме питания котлов и фосфатировании кот-

ловой воды для подпитки циркуляционной системы в целях стабилизации охлаждающей воды фосфатами, для обмывки наружных поверхностей нагрева, особенно при кислом характере отложений — золовых заносов.

В мелких котлах низкого давления, вырабатывающих насыщенный пар, особенно работающих на умягченной воде и твердом топливе, или при внутрикотловой обработке должны быть организованы термосифонное удаление шлама или регенеративное шламоудаление, а также комбинации их между собой или магнитная обработка.

Расчеты в табл. 2.11 сделаны для исходной воды с невысокой минерализованностью и жесткостью (солеосодержание 266 мг/л, жесткость 3,75 мг-экв/л, щелочность 3,35 мг-экв/л), солеосодержание котловой воды принято равным 3000 мг/л, возврат конденсата отсутствует. Все расчеты сделаны на 1 м³ исходной воды, при пересчете на 1 т пара значения возрастают на 15—25 %.

Данные таблицы показывают, что основными мероприятиями по сокращению количества и загрязненности сточных вод являются:

известкование (содоизвесткование) обрабатываемой воды с возвратом сточных вод предочистки в осветлитель;

обезвоживание получаемого шлама до влажности 50 %;

повторное использование отработанного раствора соли (ОРС) и отмывочной воды без возврата их в осветлитель.

При проведении этих мероприятий можно уменьшить сброс растворенных солей в 2,5—3 раза, а воды — в 1,5—3 раза.

Возврат в осветлители всех сточных вод ВПУ не дает дополнительного сокращения сточных вод и сброса растворенных солей в целом по ВПУ и котельной, но сокращает сброс воды и солей по собственно ВПУ.

Сброс сточных вод энергообъектов и их ВПУ в городскую канализацию и применение доочищенных городских (хозфекальных) сточных вод на энергообъектах. При сравнительно небольшом количестве неагрессивных сточных вод энергообъектов они могут быть сброшены в общегородскую хозфекальную канализацию — на ее биологические очистные сооружения. При поступлении на очистные сооружения смесь бытовых и производственных сточных вод должна иметь следующее качество:

Водородный показатель pH . . .	6,8 -8,5
Температура, °С	6 30
Общее содержание растворенных солей, г/л	10

Биологическое потребление кислорода БПК _{полн} = БПК ₂₀ при поступлении на аэротенки с рассредоточенным выпуском, мг/л	До 1000
То же при поступлении на биологические фильтры и аэротенки-осветлители, мг/л	До 500

В каждом конкретном случае качество смеси производственных и бытовых сточных вод определяется по местным условиям в зависимости от разрешающей способности очистных сооружений и других условий. Разрешение на сброс производственных сточных вод в городскую канализацию дается ГСЭУ Минздрава СССР и организациями Минжилкомхоза РСФСР и УССР.

Содержание, мг/л, менее:	
нефть и нефтепродукты, растворимые в гексане . .	25
нерастворенные масла, смолы и мазут	Отсутствуют
биологически жесткие поверхностно-активные вещества (ПАВ)	Отсутствуют
синтетические ПАВ, промежуточные и мягкие . .	20—50
формальдегид (НСОН) . .	25
сульфиды S ²⁻	1
медь Cu ²⁺	0,5
никель Ni ²⁺	0,5
хром Cr ³⁺	2,5
цинк Zn ²⁺	1,0
мышьяк As ³⁺	0,1
цианиды CN (кроме ферроцианидов) .	1,5
ртуть Hg ²⁺	0,005
свинец Pb ²⁺	0,1
кобальт Co ²⁺	1

Для протекания реакции окисления на каждые 100 мг/л БПК₂₀ в сточной жидкости должны иметься связанный азот и фосфор в количестве 5 и 1 мг/л.

Доочищенные (хлорированные и фильтрованные) хозфекальные сточные воды после биологических очистных сооружений городов и поселков могут применяться для технического водоснабжения, в том числе для циркуляционных систем охлаждения, при этом они должны иметь следующий состав, мг/л:

Взвешенные вещества . . .	≤ 2—3
Биологическое потребление кислорода БПК _{полн} = БПК ₂₀	≤ 5
Химическое потребление кислорода — бихроматная окисляемость ХПК	< 100

Перманганатная окисляемость	10—20
Азот общий связанный N_2 ($NH_4^+ + NO_2^- + NO_3^-$) . . .	< 10
Водородный показатель pH	6,5—8,5
Фосфаты P_2O_5	≤ 1,5
Хлориды Cl^-	Выше, чем в исходной, но не более 350
Сульфаты SO_4^{2-}	≤ 500
Щелочность общая	То же, что и в исходной воде
Жесткость общая	
Нефтепродукты и фенолы	Отсутствуют
Хлор свободный Cl_2 после 30 мин контакта на очистных сооружениях	
Число бактерий в 1 мл . . .	≥ 1 ≤ 1000

Не допускается применение доочищенных сточных вод не только для питья, но и для мытья рук, в душевых и т. д.

Благодаря высокой окисляемости доочищенные сточные воды обладают меньшей способностью к накипеобразованию, но более склонны к образованию биологических обрастаний на охлаждающих устройствах циркуляционных систем, что требует систематического хлорирования циркуляционной воды.

Для доочищенных сточных вод должны иметься совершенно отдельные трубопроводы с отличительной окраской, не связанные с трубопроводами общетехнической и особенно питьевой воды.

Для использования доочищенных сточных вод необходимо разрешение санитарных органов.

Условия сброса сточных вод энергообъектов в открытые, общественные водоемы регламентируются «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами Минздрава, Минводхоза, Минрыбхоза СССР».

Допустимые загрязнения природных водоисточников промышленными и хозяйственными сточными водами.

Ниже приводятся предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязнений в воде водоисточников в зависимости от характера водопользования. Эти показатели относятся к воде в створе водотока, расположенном в 1 км выше по течению водопользования, а в непоточных водоемах-водохранилищах — в 1 км во все стороны от пункта водопользования.

При сбросе сточных вод в черте населенного пункта в одном месте эти требования относятся к самым сточным водам.

Сбросные устройства должны обеспечивать возможно большее рассеивание сточной воды в воде водоисточника. В этом случае требования относятся к воде водоисточника в месте сброса.

При сбросе сточных вод с несколькими лимитирующими показателями вредности допустимое или фактическое содержание их оценивается по суммарному содержанию по формуле

$$C_1/ПДК_1 + C_2/ПДК_2 + C_3/ПДК_3 + \dots + C_n/ПДК_n \leq 1.$$

В настоящее время условия сброса промышленных сточных вод в канализацию населенных пунктов регламентированы «Правилами приемки производственных сточных вод и систем канализации населенных пунктов», утвержденными Минжилкомхозом РСФСР и согласованными с ГСЭУ Минздрава, Минрыбхозом, Минводхозом и Госстроем СССР.

Общие требования к составу и свойствам воды водных объектов у пунктов хозяйственно-питьевого, культурно-бытового и рыбохозяйственного водопользования следующие:

1. Категории водопользования

А. Хозяйственно-питьевое водоснабжение и водоснабжение пищевых предприятий.

Б. Водоемы для купания, спорта, отдыха, а также в черте населенных пунктов.

В. Водоемы, используемые для разведения ценных пород рыб, чувствительных к содержанию в воде кислорода.

Г. Водоемы, используемые для других рыбохозяйственных целей.

2. Температура

Для водоемов А и Б летняя температура не должна повышаться более чем на 3 % по сравнению с среднемесячной температурой воды самого жаркого месяца года за последние 10 лет.

Для водоемов В и Г повышение естественной температуры должно быть не более чем на 5 °С при максимальной для холодноводных рыб (лососевых, семговых) летом до 20 °С, зимой до 5 °С; для прочих видов рыб летом 28 °С, зимой 8 °С; для нерестилищ налимов зимняя температура не должна превышать 2 °С.

3. Взвешенные вещества

Увеличение содержания взвеси по сравнению с природным должно быть не более чем на 0,25 мг/л для категорий А и В и 0,75 мг/л для Б и Г.

Для водоемов, содержащих в межень более 30 мг/л природных минеральных взвешенных веществ, допускается увеличение содержания их в воде водоемов в пределах 5 %. Сточная вода с содержанием взвеси со скоростью выпадания более 0,4 мм/с для проточных водоемов и 0,2 мм/с для водохранилищ к спуску запрещена.

4. Плавающие примеси

На поверхности водоема не должны обна-

руживаться плавающие пленки и пятна нефтепродуктов, масел, жиров и скопления других примесей.

5. Окраска, запахи, привкусы

Вода не должна приобретать запахи и привкусы интенсивностью более 2 баллов, обнаруживаемые в водоемах категории А непосредственно или при последующем хлорировании, в водоемах категории Б непосредственно, в водоемах категорий В и Г вода не должна придавать запахи и привкусы и окраску мясу рыб.

Окраска в водах водоемов категорий А не должна обнаруживаться в столбике высотой 20 см, а категории Б — в столбике высотой 10 см.

6. Водородный показатель pH

В водах всех категорий водоемов $pH = 6,5 \div 8,5$.

7. Растворенный кислород

В воде водоемов категорий А и Б содержание растворенного кислорода в любой период года в пробе, отобранной до 12 ч дня, должно быть не менее 4 мг/л.

В зимний подледный период в воде водоемов категории В содержание кислорода должно быть не менее 6,0 мг/л, а категории Г не менее 4 мг/л.

В летний период в пробе отобранной до 12 ч дня содержание кислорода должно быть не менее 6 мг/л.

8. Минеральный состав

В водоемах категории А не более 1000 мг/л, в том числе Cl^- не более 350 мг/л и SO_4^{2-} не более 500 мг/л.

В водоемах категории Б нормируется по п. 5. В водоемах категории В и Г минеральный состав не нормируется.

9. Биохимическая потребность в кислороде (БПК_{полн}) для А

БПК_{полн} = 3 мг/л; для Б — 6 мг/л. В водоемах категорий А, В, Г при содержании кислорода не менее 4 мг/л.

В зимний период в водоемах категорий В и Г при содержании кислорода не менее 4 мг/л.

10. Ядовитые вещества

Не должны содержаться в концентрациях, оказывающих прямое или косвенное вредное воздействие:

в воде водоемов категорий А и Б на здоровье и организм населения:

в воде водоемов категорий В и Г на рыб и водные организмы, служащие кормовой базой рыб.

11. Возбудители заболеваний

в водах категорий А и Б не должны содержаться, а содержащие их воды должны очищаться и обезвреживаться до величины колииндекса не более 1000 при остаточном содержании Cl_2 не менее 1,5 мг/л.

В табл. 2.12 приводятся ПДК отдельных загрязнений в воде водоемистика.

Таблица 2.12. Предельно допустимые концентрации (ПДК) важнейших загрязнений * и характер лимитирующего показателя

Ингредиент	ПДК, мг/л	Ингредиент	ПДК, мг/л
------------	-----------	------------	-----------

Санитарно-токсикологический

Адипинат натрия	1,0	Стронций Sr стабильный	2,0
Ванадий V^{5+}	0,1	Тетраэтилсвинец $(C_2H_5)_4Pb$	Отсутствует
Вольфрам W^{6+}	0,1	Уротропин $(CH_2)_6N_4$	0,5
Гидразин N_2H_4	0,01	Формальдегид HCHO	0,05
Кремниевая кислота SiO_2	40,0	Фреон-12, фреон-22	10,0
Молибден Mo^{6+}	0,5	Четыреххлористый углерод CCl_4	0,3
Никель Ni^{2+}	0,1	Фосфор элементарный P	0,0001
Нитраты по азоту N_2	10,0	Флокулянты:	
Силикат натрия по SiO_2	50,0	ВА—2	0,5
		ВА-102, ВА-212	2
		К-4, К-6, КФ-6	2
		Полиакриламид	2

Общесанитарный

Аммиак по азоту	2	Сульфиды S^{2-}	Отсутствие
Изофталевая кислота	0,1	Титан Ti^{2+}	0,1
		Цинк Zn^{2+}	1

Ацетон, бензойная, масляная, молочная, муравьиная и синтетические жирные кислоты в пределах допустимых расчетом по БПК и O_2

Хлор активный Cl_2 с учетом хлоропоглощающей способности, не относится к оставшемуся после хлорирования воды

Ингредиент	ПДК, мг/л	Ингредиент	ПДК, мг/л
Органолептический			
Барий Ba^{2+}	4	Нефть многосернистая	0,1
Бензин	0,1	Нефть прочая	0,3
Железо Fe	0,5	Сероуглерод CS_2	1
Каптакс	Отсутствие	Толуол $C_6H_5CH_3$	0,5
Керосин	0,1	Фенол C_6H_5OH	0,001
Ксилол $C_6H_4(CH_3)_2$	0,05	Хром Cr^{3+} , Cr^{6+}	0,1
Маленная кислота $C_4H_4O_4$	1		
Медь Cu^{2+}	1		
Морфолин	0,04		
Нафтенновые кислоты	0,3		

Лимитирующие показатели вредности воды
для рыбохозяйственных целей (токсикологические)

Аммиак NH_3	0,05	Никель Ni^{2+}	0,01
Лак битумный	5	ОП-7	0,3
Лак пекосмоляной	1	ОП-10	0,5
Малеиновый ангидрид $C_4H_2O_3$	0,01	Свинец Pb^{2+}	0,1
Масло солярное	0,01	Сероуглерод CS_2	1
Магний Mg^{2+}	50	Смолистые вещества из хвойной древесины	2
Медь Cu^{2+}	0,01	Таннины	10
Мышьяк As^{3+}	0,05	Фталевый ангидрид $C_8H_4O_3$	0,05
Нефть и нефтепродукты	0,05		
Хлор свободный Cl_2	Отсутствие	Ксилол $C_6H_4(CH_3)_2$	0,05
Цинк Zn^{2+}	0,01	Толуол $C_6H_5CH_3$	0,5
Фтор-ион F^-	0,05*		
Хлорид аммония NH_4Cl	1,2		
Сульфат аммония $(NH_4)_2SO_4$	1		
Нитрат аммония NH_4NO_3	0,5		
Формалин $HCHO$	0,25		

* Приводятся загрязнения, которые могут сбрасываться в водоем со сточными водами энергообъектов и их ВПУ.

** В дополнение к фону не более 0,75 мг/л.

2.17. Объем ревизий и ремонт водоподготовительного оборудования

Ревизии фильтров проводятся 1 раз в 3 мес, осветлителей и деаэраторов 1 раз в 6–12 мес в зависимости от состояния и качества работы аппаратов.

При ревизии проверяется горизонтальность кромок или отверстий сборно-распре-

лительных систем аппарата (± 5 мм), горизонтальность поверхности фильтрующего материала, загрязненность его зерен, перемешивание фильтрующего материала с подстилочными слоями, наличие углублений, выбоин, щелей у стенок и т. п., осматриваются внутренние стенки аппаратов, отмечаются отложения и динамика развития равномерных и язвенных повреждений поверхности аппарата, проверяется равномерность работы дренажно-распределительных систем для воды и воз-

**Таблица 2.13. Продолжительность ревизий, текущих и капитальных ремонтов
водоподготовительного оборудования**

Оборудование	Продолжительность, сут		
	ревизии	текущего момента	капитального ремонта
Отстойники, осветлители, сатураторы, смесители	1—2		3—8
Фильтры механические, понитные, сорбционные	1	2—3	5—10 (гидроперегрузка), 10—15 (ручная перегрузка)
Распределители	0,5	—	1—2
Дозаторы сифонные и шайбовые и насосы-дозаторы	0,5	—	1 2
Резервуары, напорные смесители, расширители непрерывной продувки	0,5	—	2—3
Насосы	1	2—3	5—7
Транспортирующие устройства	1	2—3	7 10
Испарители, паропреобразователи, теплообменники-подогреватели	1	2—3	7—15
Деаэраторы	1	—	3—7
Трубопроводы	В соответствии с длительностью ремонта аппаратуры		

духа, состояние противокоррозионных покрытий, правильность показаний контрольно-измерительных приборов и плотность арматуры

Плановые текущие ремонты проводятся 1—2 раза в год (табл. 2.13). После ревизии состояния внутренности аппаратов заменяют неплотную арматуру и неисправные КИП, делают перебивку сальников и т. п. Продолжительность ремонта 1—3 дня.

При неплановых аварийных ремонтах в первую очередь устраняются появившиеся повреждения, мешающие нормальной работе аппарата, заменяются дефектная арматура и КИП, если позволяет время, производятся и другие ремонтные работы, а также в вышеуказанном объеме и ревизия аппарата.

При капитальных ремонтах, проводимых через 3—5 лет, производится выгрузка фильтрующего материала и в случае необходимости промывка его водой, щелочью, кислотой или водой, насыщенной углекислотой, а также рассев, ревизия и ремонт дренажно-распределительных систем, полная очистка внутренней поверхности аппаратов от отложений и продуктов коррозии.

Ремонтируются противокоррозионные покрытия. Проверяется состояние арматуры и КИП, и заменяются дефектные. Восстанавливаются или меняются прокорродировавшие детали. Вновь загружается фильтрующий материал с досыпкой свежего. Загруженный материал промывается в фильтре водой. Производится опрессовка аппарата, работающего под давлением (при давлении 1,25 рабочего). Проверяется плотность арматуры. Аппараты

окрашиваются снаружи и, если нужно, изнутри. Восстанавливается тепловая изоляция.

В конце каждого года составляются планы-графики ремонтов водоподготовительного оборудования на следующий год. План-график согласуется с общим планом-графиком ремонтов энергообъекта и утверждается начальником или главным инженером объекта или предприятия.

При планировании ремонтов учитывается возможность проведения их силами ремонтного персонала химцеха — ВПУ и необходимость привлечения ремонтного персонала других цехов станции, механической мастерской, сторонних организаций и т. д.

Капитальные ремонты водоподготовительного оборудования следует проводить по возможности в теплое время года, при наименьшей производительности ВПУ.

По окончании текущих и капитальных ремонтов составляется акт приемки оборудования из ремонта, в котором проставляется объем выполненных работ и оценка их.

На ВПУ производительностью до 50—100 м³/ч ремонты выполняются ремонтным персоналом котельной, механической мастерской и общезаводским ремонтным персоналом. При производительности свыше 100 м³/ч в химцехе должен иметься свой ремонтный персонал во главе с мастером или старшим мастером. В состав ремонтной группы должен входить по крайней мере один газосварщик для неотвечественных работ. Для ответственных сварочных работ, особенно оборудования, подведомственного Госгортехнад-

зору, должен привлекаться сварщик, имеющий право на сварку ответственных швов (паспортный).

В периоды между капитальными или текущими ремонтами ремонтный персонал химцеха в основном занимается ремонтом — восстановлением арматуры. Один из слесарей кроме основной специальности должен еще уметь покрывать оборудование противокоррозионными покрытиями и ремонтировать последние.

Для быстрого выполнения ремонтов на водоочистках должен иметься парк запасных частей, арматуры, КИП, рабочих колес и валов насосов, балтов, гаек, прокладок, фланцев, фитингов для водогазопроводных труб и других быстро изнашивающихся деталей в количестве 20 % установленных, работающих и не менее двух штук каждого типоразмера. Для насосов, работающих на чистой воде, должен иметься один комплект запасных частей на четыре насоса, а для работающих на агрессивной воде или на воде с известью (известковое молоко) — один комплект на два насоса.

На ВПУ производительностью более 50 м³/ч и при наличии своего ремонтного персонала должны иметься верстак с тисками, сверлильный и точильный станки, тали, тележки и комплект слесарно-монтажного инструмента (ключи, молотки, зубила и т. п.).

На ВПУ производительностью более 50 м³/ч над насосами и их электродвигателями, а также над фронтом фильтров должен иметься мостовой кран или монорельс с ручным или электрическим приводом для подъема и переноски насосов, электродвигателей и крупной арматуры.

Перечень важнейших запасных деталей, материалов и инструментов для ремонта ВПУ производительностью 150—200 м³/ч приведен ниже:

Арматура всех размеров, задвижки, краны, вентили, новые или капитально отремонтированные

20 % установленного количества, но не менее 2 шт. каждого типоразмера

Вал, рабочие колеса, направляющий аппарат, сальники

1 комплект на 4 насоса одного типа и размера, но не менее 1 комплекта на каждый типоразмер

Уплотнительные кольца

1 комплект на каждый насос

Шариковые (роликовые) подшипники

1 комплект на каждый насос

Вкладыши и кольца к скользящим подшипникам

4 комплекта каждого размера

Таль грузоподъемностью 0,5 т

1 шт.

Блоки для тросов

2 шт.

Тележка 4-колесная грузоподъемностью до 0,5 т

1 шт.

Шпindelы к задвижкам

1 комплект на каждые 5 задвижек одного типоразмера

Гайки шпindеля

То же

Диски-тарелки

1 комплект на каждые 10 задвижек одного типоразмера

Клин верхний и нижний

То же

Серьги и болты для скрепления дисков

1 комплект на каждые 5 задвижек одного типоразмера

Электросварочный трансформатор с проводами и прочим оборудованием

1 шт.

Газосварочный аппарат с шлангами и горелками

1 шт.

Трубы стальные

По 10—15 м каждого размера

Фланцы

По 6 шт. каждого размера

Заглушки

По 2 шт. каждого размера

Болты с гайками:

Ø = 20 мм, l = 50 мм

50 шт.

Ø = 16 мм, l = 70 мм

100 шт.

Ø = 20 мм, l = 100 мм

50 шт.

Шпильки с гайками:

Ø = 12 мм, l = 50 мм

20 шт.

Ø = 16 мм, l = 100 мм

20 шт.

Ø = 20 мм, l = 100 мм

20 шт.

Тройники, угольники, муфты, контргайки водогазопроводные

Ø 15, 20—25 мм стальные

По 10 шт. каждого размера

Детали дренажных систем фильтров

1 комплект каждого размера

Дренажные комплекты для фильтров

То же

Паронит толщиной, мм:

1—2

1—2 листа

3—5

1—2 листа

Резина прокладочная листовая толщиной, мм:

1—2

2—3 м²

3—5

2—3 м²

Готовые прокладки для фланцевых соединений

По 10 шт. каждого типоразмера

Сальниковая набивка 15×15 мм

15 м

Тавот

3—5 кг

Солидол

2—3 кг

Машинное масло

10—20 кг

Керосин

15—20 кг

Олифа

1 кг

Сурик

1 кг

Льняная прядь

1 кг

Зубила стальные l = 200 мм

5—10 шт.

Крейцмейсели l = 150 мм

3—5 шт.

Керны круглые l = 120 мм

2—3 шт.

Керны-метчики цифровые

1 комплект

Молоток слесарный 1 кг . . .	2—3 шт.
Молот кузнечный 8 кг . . .	1—2 шт.
Ключи гаечные двусторонние:	
14×24	2—4 шт.
24×30	2—4 шт.
разводные l=250	2 шт.
Газовые клещи:	
малые	2 шт.
большие	1 шт.
Клещи	1 шт.
Кусачки	1 шт.
Пассатижи-плоскогубцы	1 шт.
Лом стальной	1 шт.
Лопатки саперные:	
с короткой ручкой	2 шт.
с длинной ручкой	2 шт.
угловые совковые	2 шт.
Ведра железные 10—12 л	3 шт.
Ножовка с полотнами	1 шт.

2.18. Общие указания по технике безопасности при работе на ВПУ

Подробные правила техники безопасности, в том числе и при эксплуатации водоподготовительного и тепломеханического оборудования, изложены в «Правилах техники безопасности при эксплуатации теплотехнического оборудования электростанций и тепловых сетей». Ими следует пользоваться при составлении рабочих инструкций по конкретным ВПУ.

Движение по территории. При отсутствии тротуаров и неизбежности движения пешеходов по проезжей части дорог идти разрешается только по левой стороне навстречу движущемуся транспорту. Переход через железнодорожные пути разрешается только в отведенных для этого местах — переездах. Двигаться вдоль железнодорожного полотна разрешается только сбоку по тропинке (не по шпалам).

Передвигаться внутри зданий ТЭЦ, ВПУ и др. разрешается:

в котельной — вдоль фронта котлов, где находится дежурный персонал, ходить сзади котлов запрещается;

в турбинных цехах по специальным переходным площадкам.

Во время передвижения по ТЭЦ запрещается прикасаться как к работающему, так и к бездействующему оборудованию.

Находясь на территории ТЭЦ и ВПУ, работающий должен надевать пластмассовую каску.

Все работники химцеха и ВПУ обязаны знать и строго выполнять все правила безопасной эксплуатации на своих постоянных рабочих местах, а также в тепловых и электрических цехах и других частях энергообъекта при отборе проб пара, котловой воды и конденсата, охлаждающей воды, отложений, реагентов,

мазута, твердого топлива, очаговых остатков, смазочных и электроизолирующих масел, при проведении химических промывок, теплотехнических испытаний, при осмотрах котлов.

Работники химвгрупп ВПУ должны немедленно ставить в известность администрацию о всех замеченных упущениях, мешающих безопасной эксплуатации оборудования.

Администрация обязана обеспечить изучение и знание ПТБ всеми подчиненными работниками и проверку знаний ими ПТБ в установленные сроки с регистрацией результатов проверки в специальном журнале. При нарушении работником ПТБ в кратчайший срок проводится дополнительный инструктаж и внеочередная проверка знаний. При несдаче испытаний работник или понижается в должности, или увольняется.

На каждое рабочее место аппаратчика, лаборанта, рабочего по загрузке реагентов, слесаря, сварщика, машиниста насосов должны быть составлены привязанные к конкретному оборудованию или объекту местные инструкции по технике безопасности.

Освещенность помещений ВПУ общая должна быть не менее 15—20 лк, местная: фронты фильтров, пульта КИП, лабораторные и письменные столы не менее 50 лк. Должны иметься аварийное переносное освещение, аккумуляторные фонари, керосиновые фонари «летучая мышь». Для работы внутри аппаратов и в неосвещенных местах должны иметься переносные лампы со стеклянными колпаками и проволочными сетками-каркасами на напряжение 12 В.

Должны иметься пожарные краны, жидкостные, а также сухие порошковые огнетушители, кошма, песок для гашения огня на электрооборудовании, а также иметься противопожарный инвентарь: ведра, багры, ломы, крючья, топоры и т. п., установленные на щитах согласно нормам противопожарной охраны. Запрещается пользоваться противопожарным инвентарем для других целей.

Смазочные масла и органические жидкости должны храниться в специальных стальных шкафах, ящиках и в таре (бидоны, канистры).

Все помещения ВПУ должны содержать в чистоте, проходы и проезды, лестницы не должны загромождаться. Лестницы и площадки должны изготавливаться из рифленого железа и на высоте более 1,5 м ограждаться прочными перилами с обшивкой внизу на 15—20 см. Временные сборно-разборные так называемые инвентарные леса, лестницы, подмости при высоте от пола более 1,5 м должны ограждаться барьером. Люки, каналы, проемы, осветлители, открытые фильтры, каналы, резервуары в полу должны закрываться

крышками - щитами из рифленого железа или дерева. Часть крышек на рабочих местах-проемах должна быть съемной.

Подъемно-транспортное оборудование и оборудование, работающее под давлением более 0,07 МПа и при температуре выше 115 °С, подлежат ведению инспекции Госгортехнадзора (Котлонадзора) и проверяются его инспекторами в установленные сроки. Все замечания инспекторов выполняются администрацией и ремонтным персоналом в устанавливаемые инспектором сроки.

Движущиеся механизмы или части аппаратов должны быть ограждены. Снимать ограждение «на ходу» запрещается. Все трубопроводы и аппараты с температурой среды более 50 °С должны быть теплоизолированы.

При включении или выключении двигателя или другого электрооборудования при напряжении свыше 200 В персонал должен становиться на резиновый коврик и надевать резиновые перчатки (кроме кнопочного пускателя).

Все электрооборудование ВПУ должно быть заземлено. На время ревизий или ремонтов электрооборудование должно быть обесточено.

Все электрооборудование ВПУ должно соответствовать «Правилам устройства электрооборудования» и эксплуатироваться в соответствии с «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок».

Все ремонтные работы на ВПУ должны проводиться только с ведома и разрешения руководства ВПУ и дежурного инженера энергообъекта по выдаваемому ими допуску-наряду.

При выполнении ремонтных работ персоналом других цехов или отделов энергообъекта они должны вестись под непрерывным наблюдением инструктированного персонала ВПУ или химцеха.

Работы внутри аппаратов должны вестись под непрерывным наблюдением снаружи за состоянием и действиями находящихся внутри работников

Как правило, температура внутри аппарата должна быть 20—25 °С, максимум 45 °С, при которой допускается пребывание персонала внутри аппарата не более 20 мин, при отдыхе — также 20 мин. Перед началом работ внутри аппарата, а также во время работы аппарат должен вентилироваться. Работающие внутри аппарата должны быть одеты в комбинезоны.

Аппараты, ремонтируемые внутри, должны быть отключены от внешних трубопроводов заглушками. Готовность аппарата к ремонту должна проверяться руководством ВПУ или химцеха. На отключенном для ремонта аппарате и на его приборном щите должны вы-

вешиваться таблички «Не включать работают люди!».

К работе с подъемно-транспортными механизмами допускаются только специально обученные люди, прошедшие проверку знаний. Подъем грузов осуществляется только вертикально в пределах допустимой грузоподъемности механизма. Все цепи, тросы или канаты должны быть исправными, прочными, рассчитанными на допустимую грузоподъемность. Запрещается находиться под перемещаемым грузом.

Приставные лестницы должны крепиться к неподвижным аппаратам, трубам и т. п.

Провода для электросварки и шланги для газосварки не должны иметь повреждений. Корпуса сварочных трансформаторов должны быть заземлены. Сварщик должен быть одет в специальную брезентовую одежду: куртку, брюки на выпуск и рукавицы, ботинки и каску.

Газосварщик должен иметь темные очки, а электросварщик — щиток с темным стеклом. Все сварщики должны иметь соответствующую подготовку и удостоверения на право производства сварочных работ.

Баллоны для сжатых газов должны иметь исправные проверенные угловые вентили, а во время работы редукторы с манометрами. Баллоны с горючими газами должны храниться отдельно от других.

Все баллоны для сжатых газов должны быть окрашены в соответствующие цвета, иметь надписи и быть опрессованы на соответствующее давление (табл. 2.14).

Необходимое остаточное давление в баллонах во избежание попадания в них воздуха приводится ниже:

Температура, °С	<0	0 -15	15	25	25 - 35
Давление, МПа	>0,5	1	2	3	

Сосуды, работающие под давлением водяного пара, газа, сжатого воздуха свыше 0,07 МПа, подлежат ведению инспекции Госгортехнадзора (испарители, подогреватели, резервуары сжатого воздуха, паропроводы с $d_s > 75$ мм и т. п.). Оборудование, работающее под давлением только воды с температурой ниже 115 °С, фильтры и т. п. ведению Госгортехнадзора не подлежат. Состояние их контролируется только эксплуатационным (ремонтно-механическим) персоналом. Результаты контрольных испытаний аппаратов, подлежащих ведению Госгортехнадзора, записываются в шнурованную книгу-паспорт аппарата инспекторами, а аппаратов, не подлежащих ведению Госгортехнадзора, эксплуатационным, ремонтно-механическим пер-

Таблица 2.14. Данные о баллонах со сжатыми газами

Газ	Температура, °С	Давление, МПа		Окраска баллонов	Цвет надписи
		рабочее	пробное гидравлическое		
Кислород	20	15	22,5	Голубая	Черный
Хлор	—	1,5	3	Защитная	—
Аммиак	—	3	6	Желтая	Черный
Ацетилен	—	1,5	3	Белая	Красный
Водород	—	15	22,5	Темно-зеленая	»
Углекислота	—	12,5	19	Черная	Желтый
Природный газ	—	—	2,5	Красная	Белый
метан — пропан	—	—	—	—	—
Азот	—	—	—	Черная	Азот

соналом в ремонтную книгу аппарата.

Наружный осмотр аппарата производится во время его работы. Проверяются показания манометров, состояние предохранительных клапанов водоуказательных стекол, плотность закрытия запорных органов, наличие коррозионных повреждений. При внутреннем осмотре обращается внимание на состояние поверхности: наличие коррозии (трещины, язвы и т. п.), отложений накипи и продуктов коррозии, состояние сварных и заклепочных швов, состояние внутренних устройств аппарата и т. п.

Перед предъявлением для внутреннего осмотра инспектору аппарат должен быть очищен от накипи, шлама, масел и т. п.

Гидравлическая опрессовка заполненного водой аппарата производится при температуре 0—25 °С при помощи центробежного насоса, ручного или приводного гидравлического пресса.

Инспектор Госгортехнадзора имеет право проверки знаний персоналом инструкций и правил техники безопасности.

Значения рабочего и пробного давлений для сосудов, работающих при температурах не выше 100 °С, приводятся в табл. 2.15. Пробное давление выдерживается более 5 мин.

Освидетельствование аппаратов инспекторами Госгортехнадзора производится: наружный осмотр 1 раз в год, внутренний осмотр 1 раз в 3 года, гидравлическое испытание 1 раз в 6 лет.

Трубопроводы для агрессивных реагентов — кислот, щелочей — должны прокладываться по стенкам помещений ниже других трубопроводов вдали от проходов и рабочих мест. Фланцевые соединения и запорные органы этих трубопроводов должны закрываться кожухами.

Полы в помещениях, где проходят трубопроводы или находятся аппараты с водой, должны иметь уклон в сторону каналов для сточных вод или трапов.

Аппаратчики и слесари должны быть обеспечены спецодеждой в соответствии с установленными нормами.

Рабочие по загрузке реагентов должны работать в следующей спецодежде:

при работе с солью, содой, флокулянтам, сульфитом и фосфатом натрия — хлопчатобумажный костюм и рукавицы;

при работе с едкими веществами: едкий натр, известь, серная и соляная кислота, коагулянты, жидкое стекло, хлор, хлорная из-

Таблица 2.15. Рабочее и пробное давление в сосудах

Сосуды	Рабочее давление, МПа	Пробное давление при периодических испытаниях, МПа
Все сосуды, кроме литых	$\leq 0,5$ $\geq 0,5$	0,2 — 1,5 0,3 — 1,25
Литые сосуды	Независимо от давления	0,2 — 1,25
Эмалированные сосуды	—	Указанное в паспорте, но не менее, чем рабочее

весть — кроме хлопчатобумажного костюма инвентарные резиновые сапоги, перчатки, фартук, очки, респиратор (при извести);

при работе в лаборатории — хлопчатобумажный халат и инвентарные резиновые фартуки, перчатки, очки.

Известковый склад для сухой негашеной извести должен иметь приточно-вытяжную вентиляцию, работающую во время выгрузки и гашения извести.

Помещения для хранения жидкого хлора в баллонах и хлораторной установки должны быть оборудованы вытяжной вентиляцией с забором воздуха у пола помещения и вентилятором, расположенным снаружи помещения. Включение вентилятора должно производиться снаружи.

Входы в помещения склада хлора (в баллонах) и хлорной извести, а также хлораторной установки должны быть снаружи здания.

В помещениях, где проводится работа с агрессивными реагентами, должны иметься нейтрализующие вещества: 1—2 %-ный раствор питьевой соды или буры, 1—2 %-ный раствор уксусной или борной кислоты, вата, вода для обмывки, песок или опилки для засыпки пролитых жидких реагентов, а также известь или мел для нейтрализации пролитых кислот.

2.19. Условия эффективной эксплуатации ВПУ и ведения ВХР

Мероприятия* по устранению имеющихся недостатков и рациональные направления проектирования и модернизации ВПУ и ВХР кратко сформулированы в предыдущих разделах в следующих пунктах.

1. Снижение внутри- и внестанционных потерь пара, конденсата, химически обработанной воды, уменьшение потерь тепла.

2. Замена парового и паровоздушного отопления водяным.

3. Замена местных систем тепловодоснабжения централизованным от крупных котельных и ТЭЦ.

4. Очистка всех внешних и внутренних (дренажных) конденсатов без расхолаживания их от примесей оксидов железа, ионов

Ca^{2+} и Mg^{2+} , нефтепродуктов и других веществ и возврат их для питания котлов.

5. Использование очищенных конденсатов для выработки пара, в первую очередь перегретого.

6. Использование недостаточно очищенного конденсата для питания менее требовательных потребителей (испарители, закрытая теплосеть, котлы низкого давления).

7. Повышение выработки, давления и перегрева пара от теплоутилизационных парогенераторов в целях использования его в турбинах, особенно в летнее время; установка перед автономными пароперегревателями линейных циклонных сепараторов для очистки пара от увлеченной им котловой воды.

8. Все мелкие одиночные отопительные паровые и водогрейные стальные или чугунные секционные котлы, работающие на необработанной воде, следует оборудовать магнитными аппаратами и установленными подогревателями с латунными трубками, чтобы сам котел работал с огнемвым обогревом на воде с незначительными добавками жесткой воды (1—3 %), не требуя частого удаления отложений.

Подогреватели с прямыми латунными трубками могут работать на более жесткой недеаэрированной воде, так как они допускают как механическую, так и химическую очистку от отложений CaCO_3 .

9. Применение магнитной обработки воды во всех случаях подпитки систем тепловодоснабжения необработанной жесткой водой с карбонатной жесткостью выше 3 мг-экв/л.

10. При подпитке систем тепловодоснабжения умягченной водой обязательна ее термическая деаэрация.

11. Проведение технико-экономических расчетов по выявлению целесообразности очистки и возврата конденсата от мелких и удаленных потребителей пара.

12. Сооружение установок для химической обработки циркуляционной воды преимущественно централизованных. Для удаления биологических отложений — абразий при применении рециркулирующих резиновых пластмассовых шариков с плотностью ≈ 1 .

13. Возврат потенциально чистого и грязного (замасленного) производственного конденсата самостоятельными трубопроводами (при количестве каждого вида конденсата не менее 1 1,5 т/ч).

14. Передача производственного конденсата под давлением свыше атмосферного, без вскипания и потерь тепла.

15. Вентиляция паровых объемов подогревателей, барботаж в конденсаторосборниках для удаления из них свободной углекислоты в целях понижения агрессивности конденсата.

* Подавляющее большинство мероприятий должно быть учтено при проектировании и модернизации действующих энергообъектов. В процессе эксплуатации должны осуществляться мероприятия, указанные в п. 21, 27, 31, 33, 35, 36, 38, 39—41, 56, 64, 67, 70, 74, 76, 77, 81, 84, 85, 86, 88, 90, 96.

16. Замена смешивающих подогревателей воды поверхностными.

17. Конденсация пара дренажных баков холодными ($t < 100^\circ\text{C}$) конденсатами или химобработанной водой.

18. Проведение расчетов по технологической и экономической целесообразности возврата, очистки и использования горячих и холодных, чистых и загрязненных, производственных и станционных конденсатов по сравнению с применением химобработанной природной воды, в случае разработки новых более совершенных схем обработки.

19. Строгое соблюдение всех проектных и технических требований к конструкциям оборудования, качеству фильтрующих материалов, химических реагентов, к качеству исходной воды, к оснащению контрольно-измерительными приборами, соблюдению проектных или установленных в процессе наладки — эксплуатации оптимальных режимов (Q , t , w , T , pH , III , $Ж$ и др.) и колебаний их.

20. Использование на ВПУ воды наиболее благоприятного и постоянного качества, с наименьшим содержанием примесей и подогретой (циркуляционной на выходе из конденсатора при коэффициенте упаривания не более 1,3, артезианской после удаления свободной углекислоты, подрусловой и т. п.).

21. Использование на ВПУ воды, сливаемой из пробоотборных точек.

22. Создание 20—25 % резерва производительности ВПУ на случай повышения потребности в химически обработанной воде или ухудшения качества исходной воды, создание 60-минутного запаса обработанной воды.

23. Защита оборудования и трубопроводов ВПУ и энергообъекта от внутренней и наружной коррозии — применение защитных покрытий или коррозионно-стойких материалов, а также подщелачивание воды NaOH или NH_3 до розовой окраски по фенолфталеину. По возможности применения холодной воды (25°C).

24. Сокращение длины не защищенных от коррозии стальных трубопроводов, по которым транспортируется недеаэрированная химически обработанная вода или конденсат.

25. При периодической подаче кислых растворов по незащищенным стальным трубопроводам к ним подводят щелочные растворы для нейтрализации и воду для промывки после спуска кислых растворов. Заполнение трубопроводов слабо щелочным раствором ($pH=9-10$).

26. Секционирование оборудования и коммуникаций ВПУ для осуществления ремонта без полной остановки ВПУ.

27. Повышение надежности существующего оборудования ВПУ, замена изношенного

и морально устаревшего оборудования, применение новых, более совершенных схем обработки воды.

28. Широкое применение литого железобетона для сооружения ВПУ (резервуары, осветлители, открытые механические осветлительные фильтры, На-катионитные фильтры 1-й ступени, ячейки для реагентов и др.).

29. Создание на ВПУ запаса реагентов в размере 3—6 месячной потребности. Сооружение бортовых железобетонных или асфальтированных площадок для разгрузки соли из транспорта и полусухого хранения ее.

30. Оснащение всеми запроектированными необходимыми контрольно-измерительными приборами, регуляторами и устройствами для отбора и подготовки представительных проб воды и пара.

31. Оборудование на ВПУ или в химлаборатории щита КИП и «водного» щита для отбора проб.

В первую очередь в обязательном порядке должны быть осуществлены:

автоматизация дозирования реагентов на предпочитке с точностью $\pm 2-3\%$ среднего расхода;

автоматизация подогрева воды с допустимыми отклонениями от заданной температуры на предпочитке с осветлителями $\pm 1^\circ\text{C}$, при других схемах $\pm 3^\circ\text{C}$. Температура подогрева не ниже 20°C во избежание отпотевания и наружной коррозии оборудования и трубопроводов;

автоматическое регулирование производительности ВПУ с осветлителями не более $\pm 5\%$ в минуту, при других схемах $\pm 10-15\%$ в минуту;

автоматизация смешения Н- и На-катионированной (или необработанной) воды с колебаниями щелочности $\pm 0,2$ мг-экв/л;

регулирование высоты шлама в осветлителях (± 100 мм);

поддержание заданной концентрации рабочих растворов реагентов $\pm 5\%$ средней для NaCl , H_2SO_4 , CaO , HCl , NaOH , NH_3 ;

регулирование уровня воды в термических деаэраторах (± 100 мм от среднего);

регулирование давления в деаэраторах $\pm 0,0005$ МПа, температуры $\pm 1-1,5^\circ\text{C}$;

регулирование уровня котловой воды в барабанах паровых котлов, вырабатывающих насыщенный пар, ± 50 мм, а вырабатывающих перегретый пар ± 25 мм;

регулирование продувки котлов при разрыве ее более 2 т/ч по электропроводимости с точностью $\pm 5\%$;

автоматизация контроля за процессами обработки воды, в первую очередь по электропроводимости и значениям pH ;

сигнализация проскоков реагентов в хи-

мически обработанную воду (по электропроводности);

программная автоматизация промывок и регенераций ионитных фильтров при числе промывок-регенераций более трех в смену на одного аппаратчика.

32. Автоматизация и механизация трудоемких процессов в целях улучшения качества химически обработанной воды, сокращения расхода реагентов, тепла и воды на собственные нужды, трудовых затрат, облегчения труда аппаратчиков, в первую очередь:

а) механизация разгрузки транспорта и транспортировки реагентов и материалов внутри ВПУ, в том числе гидropерегрузка фильтров, удаление твердых отходов, пневматическая подача растворов реагентов (H_2SO_4 , $NaOH$ и др.), регулирование уровня воды и растворов в резервуарах;

б) механизация и дистанционное управление всеми запорно-регулирующими органами, особенно удаленными от рабочей площадки аппаратчика, при $d_s \geq 100$ мм (механические, гидравлические, пневматические и электрические приводы с указателями степени закрытия-открытия запорно-регулирующего органа).

33. Своевременные ремонты и ревизии трубопроводов и оборудования ВПУ и очистка их от загрязнений.

34. Окраска трубопроводов и оборудования в цвета согласно табл. 2.2.

35. Наладка учета и отчетности по ВПУ (выработка химически обработанной воды, расходы реагентов, тепла, электроэнергии и т. д.).

36. Применение на ВПУ жидкой «карбидной» извести - отхода от получения ацетилена или известкового молока с заводов ЖБИ и других объектов стройиндустрии.

37. Применение мелкодробленой негашеной извести с размером кусков 20—30 мм и содержанием водорастворимой CaO 50—60 % и более.

38. Гашение извести во время поступления ее на склад (в ячейки) ВПУ и хранение ее только в мокром виде.

39. Применение напорных и безнапорных циклонов для удаления недопада и песка из известкового молока.

40. Для улучшения перемешивания известкового молока в мешалках подводить сливаемое в мешалку известковое молоко через эжектор с подсосом воздуха или подводить для перемешивания сжатый воздух или применять механическую мешалку.

41. Увеличение производительности насоса известкового молока, которая должна превышать объем мешалки не менее чем в 10 раз.

42. Применение поплавковых указателей

уровня в известковых мешалках и защитных козырьков для уменьшения износа резиновых шлангов в известковых мешалках.

43. При малых производительностях ВПУ (< 100 м³/ч) рекомендуется применять распределители, сатураторы «Струя» и поплавковые дозаторы для дозирования других реагентов в осветлители.

44. Вместо насосов-дозаторов для дозирования известкового молока в осветлители применять краны с автоматическим регулированием от КДУ.

45. Применение известкового шлама из осветлителей для нейтрализации кислых стоков ВПУ, а при отсутствии их обезвреживание и удаление шлама в твердом виде с влажностью 40—60 %. Целесообразно также организовать высушивание и прокаливание обезвреженного известкового шлама в целях получения негашеной извести и повторного использования ее для обработки воды.

46. Возврат в осветлители всех незасоленных сточных вод ВПУ, в том числе и шламовых, не требующих дополнительной обработки реагентами на предочистке и не ухудшающих качества предочистленной воды.

47. Уменьшение загрязненности и количества сточных вод путем совершенствования процессов водообработки (повторное использование отработанных регенерационных растворов и отмывочных вод ионитных фильтров, противоточное проведение регенераций, применение инертных фильтрующих материалов и ионитов более высокого качества, применение содоизвесткования, использование «хвостовых» емкостей поглощения ионитов и др.).

48. Оборудование крупных ВПУ гидросортировками для промывки-сортировки зернистых фильтрующих материалов, инертных и ионитов как новых, так и бывших в работе.

49. Применение для промывки осветлительных фильтров только профильтрованной воды из специального бака с повторным ее использованием.

50. При высокой перманганатной окисляемости исходной природной воды (> 10 мг/л O_2) и плохой ее коагуляции применение дополнительной флокуляции полиакриламидом и предварительное хлорирование (остаточное содержание Cl_2 0,5—1 мг/л);

51. В прямоточной схеме коагуляции (без осветлителей) применять для подачи реагентов насосы-дозаторы завода «Ригахиммаш» с пропорциональным дозированием раствора коагулянта по производительности.

52. Подвод сжатого воздуха в дренажные системы осветлительных фильтров в нескольких точках.

53. При некарбонатной жесткости исход-

ной воды свыше 1,5 мг-экв/л прорабатывать вопрос о применении соды на стадии предпочистки воды в целях уменьшения нагрузки на катионитные фильтры.

54. Во всех фильтрах насыпного типа применять нижние дренажно-распределительные, щелевые, бесподстилочные системы только из нержавеющей стали, избегать конструкции дренажей «копирующего» типа.

55. Бетонные подушки в нижних днищах фильтров применять только горизонтальные, двух-трехслойные, с битумной промазкой между слоями и с заделкой в бетон креплений к магистрали и концов ответвлений.

56. В случаях «закарбонирования» зернистой загрузки фильтров (отложение на зернах CaCO_3) применять промывку загрузки ингибированной соляной кислотой или углекислотой из баллонов (на 1 кг CaCO_3 необходимо ≥ 3 кг технической 25 %-ной соляной кислоты или 0,5 кг 100 %-ной углекислоты).

57. На линиях подвода раствора соли перед Na-катионитным фильтром устанавливать сдвоенные задвижки, а на линиях, отводящих умягченную воду, ставить обратные клапаны для предотвращения расхода умягченной воды на взрывление.

58. Во избежание попадания раствора соли из регенерируемого фильтра в работающих и ухудшения качества умягченной воды необходимо:

поддерживать при умягчении необходимое давление в работающем фильтре (регулировать производительность выходной задвижкой);

при регенерации подачу раствора соли и отмывочной воды в регенерируемый фильтр регулировать входными задвижками (поддерживать минимальное давление в фильтре).

59. Применять для регенерации Na-катионитных фильтров техническую соль, отходы калийного производства, подземные концентрированные рассолы или морскую и океанскую воду при условии полного осветления растворов (прозрачность более 30 см) при отношении $\text{Cl}:\text{Ж}_0 > 3$.

60. Длительное отстаивание насыщенных растворов всех видов соли, в том числе и пищевой.

61. Сохранение фильтров для осветления отстоенного раствора соли только как страховочных (скорость фильтрации не более 5—7 м/ч, размер зерен 0,5—2,0 мм, высота слоя 400—600 мм).

62. Применение для регенераций Na-катионитных фильтров подогретых растворов соли ($t = 25 \div 40^\circ\text{C}$) сначала разбавленных (2—3 %-ных), в конце подачи более концентрированных (5—8 %-ных).

63. Применение после групп фильтров ло-

вушек-сигнализаторов проскока зернистого материала через дренажную систему при ее повреждении.

64. Удаление мелочи ($< 0,2$ мм) и грязи с поверхности ионита вручную, подгрузка свежего материала при снижении уровня загрузки в фильтрах на 10 %.

65. Не следует смешивать в одном фильтре крупный и мелкий сульфуголь.

66. Не допускать работы как осветлительных, так и ионитных фильтров с потерями напора более 0,1 МПа.

67. Сооружение у фильтров открытых приемков для обнаружения выноса и улавливания мелочи при взрыхлении.

68. Раздельные канализации на ВПУ для жестких засоленных и мягких щелочных вод в целях предотвращения взаимного реагирования примесей и зашламливания канализации; сбор их в баки для возможности последующего повторного использования.

69. При неустойчивом режиме «голодного» H-катионирования подпиточной воды тепловых сетей предусматривать добавку исходной воды перед декарбонизаторами.

70. Применение в декарбонизаторах керамических колец Рашига.

71. Применение в декарбонизаторах подогретого ($25\text{—}40^\circ\text{C}$) воздуха для улучшения удаления CO_2 .

72. При небольших количествах сточных вод ВПУ равномерная подача их в хозяйственно-канализацию с соблюдением установленных норм качества сточных вод перед биологической очисткой.

73. Кислые сбросные воды после основных H-катионитных фильтров направлять или в предвключенные фильтры, или в буферные нерегенерируемые фильтры, чтобы избежать нейтрализации сбросных вод известью.

74. Химически обработанную воду, как правило, распределять по деаэраторам пропорционально их производительности по индикаторам расхода или по содержанию деаэрированной воды.

75. Подогревать воду перед атмосферными деаэраторами до $75\text{—}80^\circ\text{C}$, а перед вакуумными перегревать на $5\text{—}7^\circ\text{C}$ выше температуры кипения при давлении в деаэраторе.

76. Оборудовать деаэраторные баки, а также буферные баки, работающие параллельно, барботерами для кипячения воды в них. На барботаж направлять пар из расширителей продувочной воды.

77. Применение регенеративных водо-водяных теплообменников для охлаждения деаэрированной воды после атмосферных деаэраторов (в котельных низкого давления).

78. Периодическое измерение количества выпара из деаэраторов.

79. Применение на тарелках струйных деаэраторов кольцевых перегородок для улучшения омывания струй воды паром, особенно при малых нагрузках.

80. При возврате в котельную или на ТЭЦ грязного конденсата — пароводяной смеси — устанавливать при входе ее центробежный сепаратор или фланцевый каплеуловитель для задержания капель грязного конденсата, а также солемер — сигнализатор качества конденсата.

81. Устройство на деаэраторных колонках смотровых лючков-лазов для осмотров и ревизии внутренних устройств колонок.

82. Ввод в питательную воду или пар котлов аммиака для связывания остаточной углекислоты в конденсате при выдержке концентрации NH_3 в питательной воде в конденсате турбин 0,5—1 мг/л, в производственном конденсате до 3—4 мг/л при обязательном контроле содержания меди. При аминировании содержание кислорода в конденсате не должно превышать 100 мкг/л, а концентрация меди 20 мкг/л.

83. Поддержание относительной щелочности котловой воды при зацепочных соединениях не более 20, при вальцовочных 50 %. При сварных соединениях, а также при давлении в котлах ниже 1,3 МПа относительная щелочность не нормируется. При превышении этих норм в котловую воду вводится нитрат натрия.

84. Соблюдение всех требований к свободному расширению элементов котла, плотности соединений и систематическому контролю за состоянием металла.

85. Устранение местных высоких тепловых напряжений поверхности нагрева, размещение поверхности нагрева солевых отсеков в зонах малых тепловых напряжений (вдали от факела), торкретирование экранов, рассредоточение горелок и увеличение числа их.

86. Фосфатирование котловой воды котлов с давлением > 1,3 МПа, а при жидком и газообразном топливе — всех котлов независимо от давления.

87. Организация ступенчатого испарения в котлах, работающих с большой добавкой химобработанной воды.

88. Сокращение производительности солевых отсеков при питании котлов чистым конденсатом до 8—12 %.

89. Организация в котлах со ступенчатым

испарением перекрестной циркуляции котловой воды солевых отсеков, регулируемой рециркуляции котловой воды из солевых отсеков в чистый и автоматическое регулирование продувки котла только по одному солевому отсеку.

90. Систематическая проверка плотности сепарационных и других внутрибаранных устройств во время капитальных ремонтов, проверка загрязненности труб, барабанов и коллекторов накипью, шламом и продуктами коррозии с составлением актов осмотра с оценкой состояния, применение индикаторов коррозии и накипеобразования.

91. Усовершенствование сепарационных устройств, особенно в котлах, работающих с переменными нагрузками и питаемых с добавкой химобработанной воды (циклоны, промывка пара, линейные паровые циклоны перед автономными пароперегревателями).

92. Использование выпара из стационарных барботеров, направление его в дренажные баки для конденсации с предотвращением загрязнения выпара расхолаживающей водой.

93. Сооружение в котельных цехах передвижных или стационарных установок для химических промывок и консервации котлов с баками для приемки котловой воды и с установками для нейтрализации — обезвреживания моющих и консервирующих растворов.

94. Проведение локальных химических промывок методом травления, позволяющих чаще промывать только наиболее загрязненные дренируемые участки поверхности нагрева, избегать «перетравы» металла, уменьшать расход реагентов и воды на промывки, применять менее мощные кислотоупорные насосы.

95. Организация дневных химических лабораторий, экспресс-лабораторий и аналитических столов у рабочих мест аппаратчиков с «водным» щитом и щитами КИП.

96. Организация централизованного контроля путем прокладки пробоботборных трасс для пара, питательной воды, конденсата с применением трубок из нержавеющей стали $d_{\text{вн}}$ 6/10 мм или при температуре ниже 250 °С красномедных трубок, для котловой воды стальных трубок $d_{\text{вн}}$ 6/10 мм, для воды на ВПУ стальных трубок $d_{\text{вн}}$ 6/10 мм или пластмассовых армированных трубок d 6/10 мм на давление 1 МПа. Допустимая длина трасс 100 м. Установка холодильников и «водных щитов» возле рабочих мест аппаратчиков-лаборантов.

Организация и проведение физико-химического контроля за работой водоподготовительного оборудования в водно-химическом режиме энергообъектов

3.1. Значения и способы выражения результатов анализов воды, отложений, реагентов

Состав примесей воды, находящихся в ионной форме, выражается обычно в мг/л, мкг/л, мкг/кг или в эквивалентной форме: мг-экв/л, мкг-экв/л, мг-экв/кг, мкг-экв/кг, г-экв/л, г-экв/кг.

Эквивалентной массой называют такое количество вещества, которое в данной конкретной реакции отвечает одному атому водорода (или другого вещества, ему эквивалентного) либо переходу одного электрона в окислительно-восстановительных реакциях. Например, эквивалент меди в реакции $\text{CuCl}_2 +$

$+2\text{NaOH} = \text{Cu}(\text{OH})_2 + 2\text{NaCl}$ равен половине атомной массы меди ($0,5 \cdot 63,54 = 31,77$), а в реакции восстановления меди $\text{CuCl}_2 + \text{H}^+ = \text{CuCl} + \text{HCl}$ — молярной массе, т. е. 63,54. Точно так же различны эквивалентные массы CO_2 в реакциях $\text{CO}_2 + \text{NaOH} = \text{NaHCO}_3$ и $\text{CO}_2 + 2\text{NaOH} = \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$.

В первой формуле эквивалентная масса равна молекулярной массе CO_2 , т. е. 44, а во второй — половине ее, т. е. 22,005.

Состав отложений выражается в виде оксидов SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 или $\text{R}_2\text{O}_3 = \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, CaO , MgO , CuO , P_2O_5 , SO_3 , CO_2 .

В табл. 3.1 приведены значения атомных и эквивалентных масс некоторых соединений и ионов, важных при анализе воды и отложений.

Т а б л и ц а 3.1. Значения эквивалентной массы некоторых ионов, оксидов (окислов) и других соединений

Наименование	Масса 1 мг-экв, мг	Наименование	Масса 1 мг-экв, мг
Аммоний-ион NH_4^+	18,039	Ион гидроксидов OH^-	17
Аммиак NH_3	17,03	Диоксид углерода — углекислота CO_2	44 (22)
Натрий-ион Na^+	22,9898	Карбонат-ион CO_3^{2-}	60,0094
Калий-ион K^+	39,102	Бикарбонат-ион HCO_3^-	61,0193
Магний-ион Mg^{2+}	12,156	Сульфат-ион SO_4^{2-}	48,031
Оксид магния MgO	20,1555	Серный ангидрид SO_3	40,062
Кальций-ион Ca^{2+}	20,04	Сульфит-ион SO_3^{2-}	40,062
Оксид кальция CaO	28,04	Сернистый ангидрид SO_2	32,031
Алюминий-ион Al^{3+}	8,994	Сульфид-ион S^{2-}	16,032
Оксид алюминия Al_2O_3	101,9612	Фосфат-ион PO_4^{3-}	31,6
Медь-ион Cu^{2+}	31,77	Пятиокись фосфора P_2O_5	14,2
Оксид меди CuO	39,77	Нитрит-ион NO_2^-	46,0055
Железо Fe	55,847	Нитрат-ион NO_3^-	62,0049
Железо II закисное Fe^{2+}	27,924	Хлорид-ион Cl^-	35,45
Оксид железа II FeO	71,846	Хлор свободный Cl_2	70,906
Оксид железа III (окисное Fe^{3+})	18,616	Кислород свободный O_2	15,9994
Оксид железа — гематит Fe_2O_3	159,69		
Оксид железа II—III Fe_3O_4	231,54		

и квалификации химического (аналитического) персонала, необходимого для выполнения рекомендуемого объема контроля. Объем контроля может сокращаться, но без ущерба для работы ВПУ и ведения ВХР.

Оперативный контроль осуществляется в следующем объеме (табл. 3.2).

Охлаждающая вода прямоточных и оборотных систем охлаждения конденсаторов: Ж_0 , $\text{Щ}_{\text{фф}}$, Cl^- , Ok , CO_2 , PO_4^{3-} , c/c . Расчетная упорядоченность воды в оборотной системе — 1 раз в месяц, при химической обработке — от 1 раза в сутки до 1 раза в неделю; Cl_2^- при хлорировании; PO_4^{3-} — при фосфатной обработке.

Добавочная вода оборотных систем охлаждения конденсаторов: Щ_{фф}, Щ₀, Cl⁻, CO₂, Ок, с/с, Ж₀, В_{зв}. В зависимости от колебаний качества 1 раз в неделю или месяц.

Исходная — необработанная вода, поступающая на ВПУ: $Щ_0$, $Ж_0$ — 1 раз в сутки или неделю; $Ок$, SiO_2 , c/c — 1 раз в неделю или месяц, в паводок 1—3 раза в сутки.

Обрабатываемая вода из смесителя перед очистки $Ш_0$, $Ш_{фф}$ — через 1—4 ч; $Ок$ — 1 раз в сутки при коагуляции.

Обрабатываемая вода после осветлителя: *Пр.* Ш_{фф}. Ш₀. Ж₀ — 1—3 раза в сутки, *Ок* — при коагулировании 1 раз в сутки или в неделю. Прозрачность — визуально через 1—4 ч после каждого осветителя.

Обрабатываемая вода после

Т а б л и ц а 3.2. Показатели качества воды, определяемые при анализе

Показатель	Единица измерения	Показатель	Единица измерения
Водородный показатель pH	единицы	Минеральный остаток — сумма катионов и анионов	мг/л
Кислотность по метилоранжу K	мг-экв/л	Перманганатная окисляемость	мг O/л
Щелочность:		Ок	
по фенолфталеину $Щ_{фф}$	мг-экв/л	Экстрагируемые эфиром или гексаном вещества (жиры, масла, нефтепродукты) ЭРВ	мг/л
по метилоранжу $Щ_{мо}$ общая	мг-экв/л	Специфические загрязнения, в том числе потенциально кислые или щелочные СЗ	мг/л
$Щ_o = (HCO_3^- + CO_3^{2-} + OH^-)$		Взвешенные вещества $B_{вз}$	мг/л
гидратная (OH^-)	мг-экв/л	Прозрачность $Пр$ по шрифту	см
карбонатная (CO_3^{2-})	мг-экв/л	Снеллена или «по кольцу»	
бикарбонатная (HCO_3^-)	мг-экв/л	Мутность визуально	оценка
Относительная $Щ_{отн}$	%	Цветность $Pt-Co$ по шкале $Цв$	градус
Гуматы G	мг-экв/л	Запах органолептически при 20—60 °C	баллы
Жесткость:		Вкус (стерилизованной пробы)	баллы
общая $Ж_o$	мг-экв/л	Удельная электропроводимость	мкСм/см
кальциевая $Ж_{Ca}$	мг-экв/л	χ	
магниевая $Ж_{Mg}$	мг-экв/л	Солесодержание (с/с) по со- лемеру в пересчете на NaCl или Na ₂ SO ₄	мг/л
карбонатная $Ж_k$	мг-экв/л		
некарбонатная $Ж_{нк}$	мг-экв/л		
Нерастворимый остаток HO	мг/л		
Сухой остаток, высушенный при 105—110 °C, CO	мг/л		
Прокаленный (при 800—850 °C) остаток $ПО$	мг/л		
Потеря (привес) при прокаливании при 800—850 °C — $ППП$ (+ $ППП$)	мг/л		

осветлительных фильтров или перед Na- или H-катионитными фильтрами: Ж_0 , Ш_0 , $\text{Щ}_{\text{фф}}$ — 1—3 раза в сутки; ОкSiO_3^{2-} — при коагуляции и обессоливании 1 раз в сутки или неделю, желательно из средней пробы. Прозрачность — визуально через 2—4 часа после каждого фильтра.

Обрабатываемая вода после каждого катионитного фильтра I ступени: при включении Ж_0 , Ш_0 , (K) — в середине цикла, Ж_0 , Ш_0 (K) — через 2—4 ч; в конце цикла Ж_0 , Ш_0 (K) — через 10—15 мин.

Обрабатываемая вода после катионитных фильтров II ступени из средней пробы от всех фильтров: Ж_0 , Ш_0 (K), с/с — 1 раз в смену или сутки.

Обрабатываемая вода после каждого катионитного фильтра II ступени (химически обработанная вода): при включении Ж_0 , Ш_0 (K); в середине цикла Ж_0 , Ш_0 (K) — 1 раз в смену; в конце цикла Ж_0 , Ш_0 (K) — через 1 ч.

Химически обработанная вода после Na- или H-катионитных фильтров II ступени: Ж_0 , $\text{Щ}_{\text{фф}}$, Ш_0 , (K), (с/с), (Ок), (SiO_3^{2-}), (Fe), (Al^{+3}), (pH), Cl^- из разовой пробы — 1 раз в смену, то же из среднесуточной пробы — 1 раз в сутки.

Весьма желателен непрерывно действующий самопишущий солемер. Вода после декарбонизатора: CO_2 — 1 раз в смену.

Химически обессоленная вода после ВПУ: Cl^- , Ж_0 , Ш_0 , с/с , pH, SiO_2 из разовой пробы — 1 раз в смену, из среднесуточной пробы — 1 раз в сутки. Необходим автоматический самопишущий солемер.

Конденсат турбин: с/с , Ж_0 — 1 раз в смену, O_2 — 1—2 раза в неделю.

Конденсат сетевых подогревателей: с/с , (Ж_0) — 1—3 раза в сутки.

Конденсат водоподогревателей и дренажей: с/с , (Ж_0) — 1 раз в сутки.

Конденсат производственный: с/с , Ж_0 , Щ_0 , Пр , Fe, масла и нефтепродукты, специфические загрязнения — или 1 раз в смену из общего трубопровода, или из каждого перекачиваемого бака. Весьма желателен автоматический самопишущий солемер.

Питательная вода испарителей-паропреобразователей: Ж_0 , Ш_0 , с/с , (Cl^-) — 1 раз в смену; O_2 — 1 раз в сутки.

Концентрат испарителей-паропреобразователей (при вакууме через накопительный бачок): Cl^- , с/с , Ш_0 , PO_4^{3-} — из каждого корпуса 2—4 раза в смену.

Вторичный пар или дистиллят: с/с , (Cl^- , Ш_0) — 1—2 раза в смену; из каждого корпуса — при ухудшении общего вторичного пара.

Питательная вода паровых котлов: χ , —с/с , Ж_0 , Ш_0 , $\text{Cl}(\text{NH}_3)$, O_2 из питательных насосов — 1—3 раза в сутки; из каждого деаэратора — при повышении содержания кислорода в общей питательной воде.

Котловая вода:

котлы без ступенчатого испарения: χ , —с/с , $\text{Щ}_{\text{фф}}$, $\text{Ш}_{\text{мо}}$ — через 2—8 ч;

котлы со ступенчатым испарением, вода чистого отсека: χ , Ш_0 , PO_4^{3-} — через 4—8 ч;

котлы со ступенчатым испарением, вода солевых отсеков: χ , Ш_0 — через 2—4 ч, PO_4^{3-} — через 8 ч.

Пар насыщенный и перегретый: χ — одновременно с отбором проб котловой воды.

Подпиточная вода тепловых сетей: O_2 , Ж_0 , Ш_0 , $\text{Щ}_{\text{фф}}$ — 1 раз в сутки, Fe — 1 раз в неделю.

Сетевая вода тепловых сетей: O_2 , Ж_0 , Ш_0 , $\text{Щ}_{\text{фф}}$ — 1 раз в сутки; SiO_3^{2-} — при силикатировании 1 раз в сутки; Fe — 1 раз в неделю.

Сбросные воды (ВПУ энергообъекта, ГЗУ, масляно-мазутных хозяйств, поверхностные с территории энергообъекта) контролируются в точках в объеме и в сроки, согласованные с районными органами санитарного, водного и рыбохозяйственного надзора [с/с , Ж_0 , Cl^- , SO_4^{2-} , Ш_0 , (K), pH, Взв , Ок].

Периодический контроль.

Полные анализы исходной поверхностной воды, химически обработанной, питательной, добавочной и оборотной воды охлаждающих систем проводят не реже 4 раз в год, а именно: 1) в конце зимы перед паводком — до начала таяния снега, в период наименьшего поверхностного стока и наибольшей минерализации воды, при наименьшем содержании в ней органических и взвешенных веществ; 2) в паводок — при наибольшем содержании взвешенных веществ и наименьшем содержании растворенных солей; 3) в конце паводка, во время таяния снега в лесах, когда содержание органических веществ в воде максимальное; 4) в конце летнего периода, когда наблюдается интенсивное цветение воды в реках и особенно в непроточных водохранилищах. Подземные воды со стабильным составом примесей анализируются 2—3 раза в год.

Полные анализы котловой воды проводят

с таким расчетом, чтобы за год по каждому парогенератору энергообъекта были выполнены полные анализы котловой воды по всем точкам оперативного контроля. Пробы по всем точкам отбираются одновременно. Разрешается котловую воду из двусторонних солевых

отсеков смешивать в отношении 1:1 и делать полный анализ средней пробы.

Определения, выполняемые при полном анализе воды, приведены в табл. 3.3. Кратко объем химконтроля по отдельным точкам приведен ниже.*

* Здесь и далее в скобках помещены определения или необязательные, или выполняемые реже, т. е. не в каждой пробе.

Исходная — природная вода: CO_2 , $M.O.$, c/c , $Bзв$, $Пр$, $Щ_0$, $Ж_0$, $Ж_{Ca}$, $Ж_{Mg}$, SiO_2Fe , (NH_3) , SO_4^{2-} , Cl^- , Ok , $(ЭРВ)$, $(СЗ)$, NO_2^- , NO_3^- , O_2 в артезианской воде, CO_2 , pH — 3—4 раза в год в характерные периоды.

Предпочитенная — профильтрованная вода: CO_2 , c/c , $Щ_0$, $Щ_{фф}$, SiO_2 , $Ж_0$, $(Ж_{Ca})$, $Ж_{Mg}$, Fe , NH_3 , SO_4^{2-} , Cl^-), Ok — одновременно с исходной водой.

Химически обработанная и умягченная

Т а б л и ц а 3.3. Аналитические определения, выполняемые при анализе воды и их точность

Показатель	Метод определения	Чувствительность и размерность	Рекомендуемый предел округления
Цветность	По шкале Pt—Co (Cr—Co)	10°	—
Прозрачность	По «кольцу» или шрифту	1—2 см	2 см
Мутность	Качественно-визуально	5 мг/л	5—10 мг/л
Взвешенные вещества в известковой воде	Титрованием 0,1 н. HCl	10 мг/л в пересчете на $CaCO_3$	10 мг/л в пересчете на $CaCO_3$
Щелочность по фенолфталеину и метилоранжу в водах типа конденсата	Титрованием 0,05 н. HCl	0,05 мг-экв/л	0,05 мг-экв/л
То же в других водах	То же 0,1 н. HCl	0,1 мг-экв/л	До двух значащих цифр
Жесткость: менее 10 мкг-экв/л	Визуально-колориметрический	0,2 мкг-экв/л	1
более 10 мкг-экв/л	Трилометрический, титрованием 0,05 н.	2 мкг-экв/л	До двух значащих цифр
Перманганатная окисляемость	Титрованием 0,002-м (0,01 н.) $KMnO_4$ в кислой или щелочной (при Cl более 50 мг/л) среде	1—1,5 мг/л O_2	—
Кислород растворенный	Иодометрически по Винклеру	0,05 мг/л O_2	0,01
	Иодометрически с двойным отбором	0,05 мг/л O_2	0,01
	Колориметрически с индикатором	0,01 мг/л O_2	0,01
	Колориметрически с метиленовым голубым	0,005 мг/л	0,005
Углекислота свободная	Титрованием 0,05 м NaOH	1 мг/л	До двух значащих цифр
Водородный показатель pH	По универсальной индикаторной бумаге или по наборам жидких индикаторов	0,5—1,0	1
Хлориды Cl^-	Меркуриметрически с нитропруссидом или дифенилкарбазидом (дифенилкарбазоном)	1 мг/л 1—2 мг/л	1
Сульфаты SO_4^{2-}	Н-катионированием пробы	3—5 мг	—
Сухой остаток	Выпариванием	5—10 мг в пробе	—
Солесодержание	Электрометрически с дегазацией пробы	0,1 мг/л	—
Железо Fe	Сульфосалициловый, колориметрический	0,005 мг/л	—
	Трилометрический титрованием с роданидом или сульфосалицилатом	0,10 мг/л	0,10
Фосфаты PO_4^{3-} в котловой воде	Молибдатный колориметрический	1 мг/л	1
	Титрованием 0,1 м HCl	3—5 мг/л	—
Нитриты NO_2^-	Колориметрически по Гриссу	0,0002 мг/л	—
Силикаты SiO_3^{2-}	Молибдато-колориметрический	3 мг/л	—
	По желтому или синему комплексам	0,005 мг/л	—

Показатель	Метод определения	Чувствительность и размерность	Рекомендуемый предел округления
Аммиак, аммоний-ион — NH_3 , NH_4^+	Колориметрически по Несслеру	0,05 мг/л	—
Сульфит-ион SO_3^{2-}	Йодометрически	0,2 мг/л	—
Нитраты NO_3^-	Визуально-колориметрически с калициловым реактивом	0,1 мг/л	—

Примечания: 1. Чувствительность и точность объемных методов анализа определяются размером капли, который зависит от диаметра оттянутого конца (носика) бюретки и вязкости жидкости. Обычно 1 капля равна 0,03—0,05 мл (см^3). Объем капель следует проверять для каждой бюретки и каждого раствора при 20—25 °С.

2. При организации и проведении химического контроля следует учитывать, что ухудшение качества пара, как правило, происходит внезапно бросками — «пиками», довольно значительными, но кратковременными. Такие броски при периодическом контроле уловить невозможно. Автоматические анализаторы их регистрируют, однако в протяженных пробоборных трассах, особенно большого диаметра, наблюдается запаздываемость результатов по отношению к моменту нарушения теплового режима и уменьшение величины «пиков».

вода: CO , c/c , Щ_0 , $\text{Щ}_{\text{фф}}$, SiO_2 , Ж_0 , Fe , (NH_3) , (Cl^-) , Ок , NO_2^- , NO_3^- , (pH) — одновременно с исходной водой.

Обессоленная (обескремниенная) вода: χ , SiO_2 , Ж_0 , Fe , (NH_3) , Cl^- , Ок , pH — одновременно с исходной водой.

Питательная вода: (CO) , c/c , pH , SiO_2 , Ок , Щ_0 , Ж_0 , Fe , NH_3 — 2—4 раза в год.

Котловая вода: ЦО — c/c , SiO_2 , Ок , Щ_0 , $\text{Щ}_{\text{фф}}$, $\text{Щ}_{\text{отн}}$, Cl^- , SO_4^{2-} (NO_3^-) — при нитратировании 1 раз в год по каждой точке контроля парогенератора.

Добавочная вода оборотных систем: c/c , (Взв) , Пр , Щ_0 , Ж_0 , (Ж_{Ca}) , (SO_4^{2-}) , Cl^- , (PO_4^{3-}) , Ок , CO_2 , pH — 2 раза в год: летом и зимой.

Циркуляционная вода оборотных систем: c/c , (Взв) , Пр , pH , Щ_0 , $\text{Щ}_{\text{фф}}$, Ж_0 , Ж_{Ca} , Cl^- , (PO_4^{3-}) , Ок , CO_2 , $\text{CO}_2^{\text{гпр}}$ — 2 раза в год, летом и зимой.

Подпиточная вода тепловых сетей и систем горячего водоснабжения (прямая): Пр , Щ_0 , $\text{Щ}_{\text{фф}}$, Ж_0 , (Fe) , Ок , (SO_4^{2-}) , (Cl^-) , O_2 , pH , цвет, запах — 1—2 раза в год.

Сетевая вода (обратная) тепловых сетей и горячего водоснабжения: Пр , Щ_0 , $\text{Щ}_{\text{фф}}$, Ж_0 , (Fe) , (SO_4^{2-}) , O_2 , pH , цвет, запах — 1—2 раза в год.

Сбросные воды водоподготовительных установок: c/c , Взв , Пр , Щ_0 , (K) , Ж_0 , SO_4^{2-} , Cl^- , Ок , ЭРВ , СЗ , pH — 3—4 раза в год.

Сбросные воды мазутиного хозяйства ТЭЦ: c/c , Взв , Пр , Щ_0 , K , Ж_0 , ЭРВ , СЗ , CO_2 , pH — 1—2 раза в год.

Сбросные воды ГЗУ и обмывочные: c/c , Взв , Пр , Щ_0 , $\text{Щ}_{\text{фф}}$, K , Ж_0 , ЭРВ , СЗ , CO_2 , pH , (V_2O_5) — 1—2 раза в год.

Сбросные воды после химических промывок котлов-парогенераторов: c/c , Взв , Пр , Щ_0 , $\text{Щ}_{\text{фф}}$, K , Ж_0 , Fe , Cu^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , СЗ , CO_2 , pH — после каждой промывки.

Приведенные выше объемы оперативного и периодического ручного химконтроля за ра-

ботой ВПУ и ВХР энергообъектов максимальны. На малых энергообъектах объем химконтроля может быть уменьшен. Оперативно контролироваться должны только те показатели качества воды и пара, которые нормируются ГОСТ, ОСТ, ПТЭ и РТМ. На ВПУ и энергообъектах низкого давления должны контролироваться или непосредственно нормируемые показатели качества воды, или косвенные, входящие в постоянном соотношении с нормируемыми, например вместо трудно определяемого сухого остатка можно определять удельную электропроводимость (содержание), хлориды или щелочность.

Периодичность отбора и анализа проб устанавливается в зависимости от колебаний теплового режима работы агрегатов, наличия автоматических приборов-анализаторов, количества химперсонала и скорости передачи данных оперативного химконтроля теплотехническому персоналу — операторам-машинистам.

3.4. Организация химических лабораторий

Типы лабораторий. В зависимости от объема контроля и сложности аналитической работы лаборатории разделяются на три типа.

1. Малые лаборатории, оборудованные аналитическими столами-шкафами, размещаются в отдельных защищенных от пыли комнатах-боксах или в общих помещениях котельных ЦТП, ИТП, теплоутилизационных котельных. В них проводятся определения $\text{Щ}_{\text{фф}}$, Щ_0 , Ж_0 , Пр , Цв , O_2 (при обескислороживании), SiO_2^{2-} (при силикатировании сетевой воды).

Анализы выполняются 1—2 раза в сутки лаборантами-обходчиками, аппаратчиками-лаборантами или дежурными операторами-машинистами теплотехнического оборудования. Руководит химконтролем старший лаборант-техник групп котельных или ЦТП или

объемных котельных. Аналитические растворы готовит старший лаборант преимущественно из фиксаналов.

При небольших расстояниях котельных и ЦТП между собой (менее 1 км) одна лаборатория и один лаборант могут обслуживать несколько котельных ЦТП—ИТП или теплоутилизационных котельных.

2. Средние лаборатории при средних (по производительности) водогрейных, паровых или теплоутилизационных котельных или группах их в одном населенном пункте. Паровые котельные вырабатывают насыщенный пар низкого давления (до 1,4 МПа) в количестве до 50 т/ч или теплоту до 100 Гкал/ч.

Контролируемые объекты — На-катионитные установки, термические дезазотаторы, котлы, СИО и другие ТУПГ.

Проводимые определения: J_0 , $Ш_0$, $Ш_{г.}$, $Ш_{к.}$, $Ш_{бк.}$, $CO_2^{своб.}$, рН, O_2 , Ок, Fe, Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NH_3 , Cu^{2+} , χ —с/с, запах, прозрачность, цветность, при возврате загрязненного производственного конденсата — специфические загрязнения, маслонефтепродукты.

Контроль ведется круглосуточно под руководством старшего лаборанта-химика, который готовит аналитические растворы как из фиксаналов, так и из сухих (жидких) реактивов. Персонал дневной химлаборатории контролирует работу лаборантов мелких лабораторий, снабжая их необходимыми аналитическими растворами.

3. Крупные лаборатории при крупных паровых или водогрейных котельных и ТЭЦ, имеющих производительность по пару свыше 50 т/ч, по теплоте до 100 Гкал/ч и вырабатывающих насыщенный или перегретый пар давлением до 4 МПа, в том числе ТУПГ, ОКГ, УСТК, КУ и др.

Проводятся определения, указанные в табл. 3.2, J_0 , $J_{св.}$, $Ш_0$, $Ш_{ф.}$, $Ш_{г.}$, $Ш_{к.}$, $Ш_{бк.}$, $CO_2^{св.}$, $CO_2^{пр.}$, рН, Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , SiO_2 , NH_3 , Fe, Cu^{2+} , χ —с/с, запах, цветность, прозрачность, а также анализы сточных вод, отложений, технических реагентов и растворов. Контролируется состояние водоподготовительного и теплоэнергетического оборудования при помощи индикаторов, контрольных вырезов; проверяется качество инертных фильтрующих материалов, ионитов и сорбентов. Готовятся все аналитические растворы; в необходимых случаях проводится очистка некоторых реактивов для повышения качества химического контроля, готовится дистиллированная или обессоленная вода для аналитических целей.

В лаборатории должны работать два лаборанта под руководством химика-энергетика, руководящего также работой дежурного химперсонала и лаборантов мелких котельных и их групп. С участием персонала крупных

лабораторий проводятся теплохимические испытания котлов и испарителей.

Лабораторные помещения. Категория пожарной безопасности — Д, степень огнестойкости — II, группа санитарной характеристики производственных процессов — 1-а, площадь комнат основных помещений лабораторий II и III типов — не менее 12 м², площадь весовых и кладовых — соответственно 4—6 и 2—6 м², площадь специального помещения, снабженного вытяжной вентиляцией, для хранения легко воспламеняющихся и летучих веществ — 2—3 м².

Запрещается размещать лаборатории в подвальных этажах. Окна лабораторий должны быть обращены на север, при других направлениях окна должны иметь белые занавески. Весовые помещения (боксы), а также кладовые могут быть без окон. Должны быть приняты меры против вибрации помещений лаборатории, особенно весовой комнаты.

Рабочие проходы между основной мебелью (лабораторными столами) — не менее 1400 мм.

В рабочих помещениях лабораторий допускается хранение не более 1 кг горючих (огнеопасных) и едких веществ каждого наименования и не более 4 кг в общей сложности. Остальное количество веществ должно храниться в кладовой.

В рабочих помещениях огнеопасные и летучие вещества следует хранить в вытяжных шкафах в количестве не более пятисуточного запаса. Ядовитые вещества, а также этиловый спирт должны храниться в специальном шкафу (сейфе) под замком. Вместо сейфа можно применять стальные запирающиеся ящики.

Полы в лабораториях должны быть выложены керамической (метлахской) плиткой или покрыты линолеумом. Стены рабочих помещений на высоту 1,8 м должны быть выложены кафельными плитками или выкрашены светлой, не яркой масляной краской. Двери шириной не менее 1 м должны открываться наружу.

Стены помещений лабораторий должны выполняться из огнестойкого материала (кирпич, железобетонные плиты). Деревянную дверь кладовой желательно обшивать металлическим листом (δ—0,5 мм) по асбесту или войлоку, пропитанному глиняным раствором.

Основные рабочие помещения должны иметь приточно-вытяжную вентиляцию с обменом воздуха на одного работающего не менее 20—30 м³/ч. Движение вентилируемого воздуха не должно ощущаться. В окнах должны иметься форточки. Вытяжные шкафы должны быть оборудованы вытяжной естественной и принудительной вентиляцией при скорости движения воздуха в рабочем

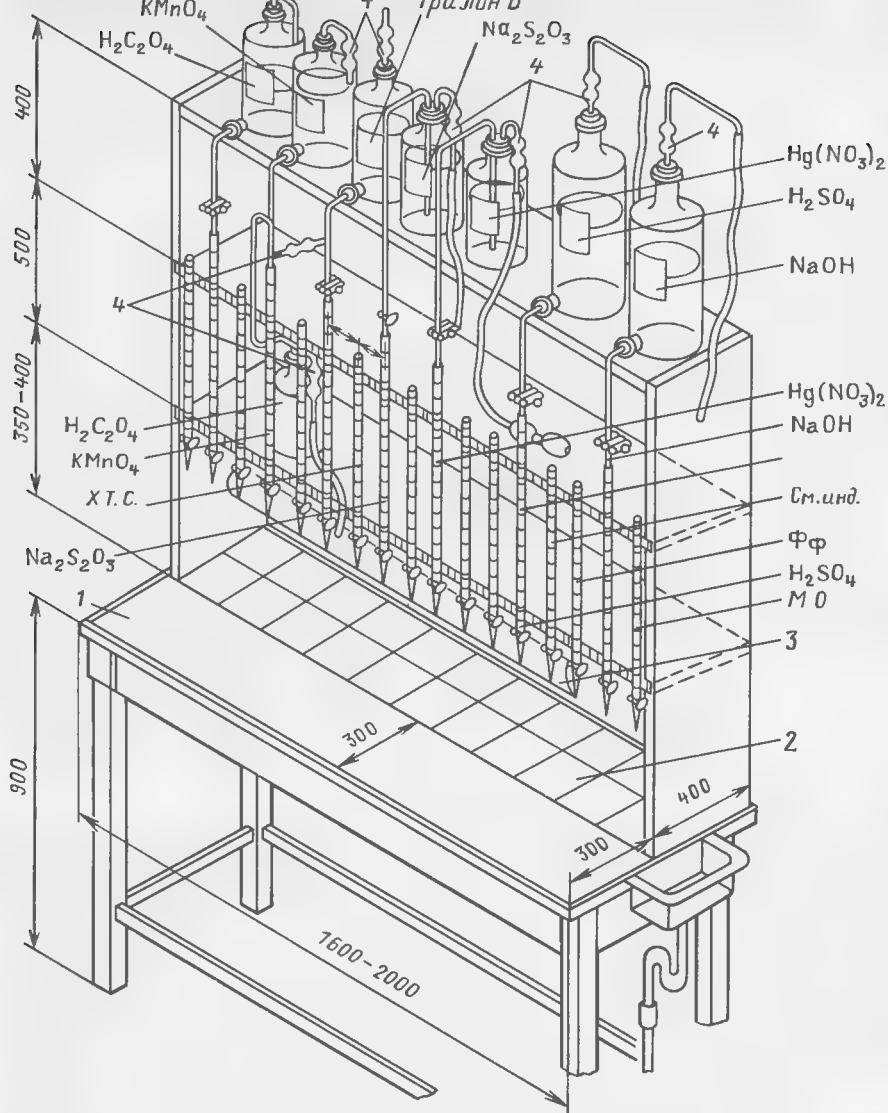


Рис. 3.1. Титровальный стол:

1 — линолеум, резина листовая или белая бумага, покрытая прозрачным плексигласом; 2 — белый шкаф; 3 — лампы дневного света; 4 — хлоркальциевые трубки

проеме шкафа не менее 0,5 м/с. Кратность обмена воздуха в час приведена ниже:

	Приток	Вытяжка
Основные рабочие помещения	5	5
Весовые	3	3
Помещение для подготовки проб к анализу . . .	8	10
Кладовые	1	2

У каждого рабочего стола и вытяжного шкафа должна быть установлена раковина с подводами водопроводной (питьевой) воды с температурой не выше 25 °С и горячей воды не выше 70 °С. Должны иметься смесители. Электроплитки и водяные электрические бани должны устанавливаться в вытяжном шкафу или на специальном столе под вытяжкой. Столешницы рабочих столов должны быть выложены белым кафелем или керамической плиткой или, наконец, покрыты металлическим

аналитических и титровальных столов должны быть покрыты плексигласом по белой бумаге (рис. 3.1).

Все электроприборы должны быть заземлены. В лаборатории должен быть общий щиток для отключения всей силовой электропроводки. Напряжения как силовой, так и осветительной сети — 220 В.

Общая освещенность на уровне рабочих столов должна быть не менее 150 лк при лампах накаливания и не менее 300 лк при люминесцентных лампах. Титровальные столы должны иметь местное освещение люминесцентными лампами при освещенности рабочего места столешницы не менее 500 лк. Местное освещение должно иметься и на письменном столе.

Освещение вытяжных шкафов должно осуществляться снаружи двумя светильниками по 100 Вт в герметической арматуре с выключателями, расположенными вне вытяжного шкафа.

Для подключения электроприборов на рабочих столах должны быть предусмотрены щитки со штепсельными розетками. Электро-

Оснащение лабораторий. В табл. 3.4 приведены сведения об оснащении химлаборатории мебелью, оборудованием, приборами, посудой, реактивами, материалами в зависимости от категории, характеристика которой приведена ниже:

Категория лабораторий	I	II	III
Площадь помещений, м ²	Бокс 6—8	25—30	40—50
Оборудование	Водопрод, канализация	Водопрод, подвод горячей воды, канализация, электропроводка, отопление, вентиляция	

В табл. 3.4 указано количество посуды, реактивов и материалов, первоначально необходимое для лаборатории. В дальнейшем ежегодная потребность определяется по наличию остатка и предполагаемой потребности в посуде, реактивах, материалах на следующий год в соответствии с намечаемым объемом контроля (числом определений с поправочным коэффициентом около 1,25—1,3).

Т а б л и ц а 3.4. Оснащение лабораторий в зависимости от категории

Наименование	I	II	III
Мебель			
Стол для титрования с полками (см. рис. 3.1)	1	1	1
Стол лабораторный приставной	—	1	1
То же островной	—	—	1
Стол для нагревательных приборов	—	1	1
Стол письменный	—	1	1
Шкаф вытяжной	—	1	1
Шкаф для посуды и реактивов	—	1	2
Стол для аналитических весов	—	1	1
Табуретки лабораторные высокие	—	2	2
Табуретки обычные	—	2	2
Стулья	1	2	3
Оборудование, приборы			
Экспресс-лаборатория ЭЛВК-5 (походная)	1	1	2
Дистилляционный аппарат или холодильник для конденсации промышленного пара	—	1	1
Лабораторная обессоливающая установка	—	1	1
Лабораторные ионитные фильтры	—	3	3
Лабораторный рН-метр	—	—	1
Весы аналитические до 200 г	—	—	1
Весы технические до 1 кг	—	1	1
Весы роговые ручные до 100 г	—	1	1
Разновес 10 мг — 500 г	—	1	1
Разновес 10 мг — 100 г	—	1	1
Разновес аналитический до 100 г	—	—	1
Эксикатор, $d=250$ мм	—	1	2
Прибор для определения прозрачности	—	1	1
Спиртовка стеклянная	—	—	1
Солемер лабораторный или мегаомметр	—	1	2
Электроплитка мощностью 0,5—0,7 кВт	1	2	3
Баня водяная электрическая	—	—	1

Наименование	I	II	III
Сушильный шкаф с терморегулятором до $t=250^{\circ}\text{C}$	—	—	1
Печь муфельная до 800°C	—	—	1
Холодильник бытовой «ЗИЛ» или «Ока»	—	—	1
Набор сит для рассева зернистого материала 0.2—5 мм	—	—	1
Аптечка первой помощи	—	—	1
Ареометры (набор):			
0,7—1,84	—	—	1
0,7—1,0	—	—	1
1,0—1,2	2	2	3
1,0—1,84	2	2	2
Баллоны двойные резиновые (парикмахерские)	—	—	1
Доска с колышками для сушки посуды	1	1	2
Ерши волосяные для мойки посуды	1	2	3
Зажимы винтовые для резиновых трубок (Гофмана)	5	10	15
Зажимы пружинные для резиновых трубок (Мора)	5	10	15
Клещи слесарные	—	—	1
Плоскогубцы-пассатижи	—	—	1
Пинцеты металлические лабораторные никелированные	—	—	1
Ложки лабораторные металлические никелированные	—	1	1
Лупа лабораторная $\times 10$ с масштабной линейкой	—	1	1
Ножницы	—	1	1
Напильник трехгранный бархатный, $l=250$	—	1	1
Отвертки разные	1	1	1
Очки предохранительные технические	—	1	2
Передник резиновый технический	—	1	1
Перчатки резиновые технические	—	1	1
Проволока нихромовая, кг, диаметром, мм:			
0,3	—	—	0,1
0,6	—	0,05	0,1
1,0	—	—	0,1

Оборудование приборов

Сверла для пробок (набор)	—	1	1
Скальпель остроконечный	—	—	1
Термометр лабораторный:			
№ 2 до 100°C	2	3	5
№ 4 до 250°C	—	1	2
уличный	—	1	1
комнатный	—	1	1
Фотоколориметр	—	—	1
Шпатель:			
пластмассовый	—	1	1
металлический никелированный	—	1	2
Штативы:			
для пробирок	1	1	2
для пипеток	1	1	2
Штатив Бунзена:	1	3	5
муфты к нему	3	5	10
лапки к нему	3	5	10
кольца к нему	—	—	5
Щипцы тигельные	—	—	1

Посуда лабораторная стеклянная градуированная

Бюретки Мора без крана объемом, мл:			
25	2	3	5
50	—	1	2
100	—	—	2
Бюретки с краном на 25 мл	2	3	5
Микробюретки с боковым краном	1	1	3
Пипетки градуированные:			
1—2 мл	3	3	5
10 мл	2	3	5

Наименование	I	II	III
Пипетки неградуированные (Мора) объемом, мл:			
10	2	3	5
50	2	3	5
100	3	3	5
Колбы мерные с притертой пробкой объемом, мл:			
50	—	3	2
100	2	3	5
250	1	3	3
500	—	2	2
1000	—	2	2
Цилиндры стеклянные градуированные с носиком объемом, мл:			
10	2	3	5
100	3	5	5
250	1	3	3
500	1	3	3
1000	—	2	2

Посуда стеклянная неградуированная

Бутыли для растворов объемом, л:			
1	10	10	15
3	—	2	5
5	—	2	5
10	3	2	2
Склянки с притертой пробкой объемом, л:			
0,05	—	—	3
0,1	—	—	10
0,25	—	—	5
0,5	3	5	5
1,0	3	5	5

Посуда стеклянная неградуированная

Склянки для растворов с нижним тубусом объемом, л:			
1	2	3	5
2	2	3	5
5	—	5	5
Банки материалы широкогогорлые с притертой пробкой объемом, л:			
0,5	3	5	5
1	5	10	10
То же без притертых пробок объемом, л:			
0,5	5	5	10
1	3	5	10
Колбы Бунзена объемом 1 л	—	—	1
Бюксы для взвешивания $d=30 \div 40$ мм на 50—60 мл	—	—	3
Воронки делительные цилиндрические объемом, мл:			
100	—	—	2
250	—	—	3
Воронки химические простые диаметром, мм:			
35	5	5	5
56	5	3	5
100	—	2	5
150	1	2	5
Колбы плоскодонные узкогорлые объемом, мл:			
100	5	15	15
250	10	15	15
500	—	5	5
1000	—	2	2
Колбы плоскодонные конические узкогорлые объемом, мл:			
100	5	10	15
250	20	30	50
500	5	5	10
1000	—	2	5
Бутылочки молочные (аптечные) градуированные на 200—250 мл	10	30	50

Наименование	I	II	III
Парфюмерные склянки с колпачками и широким горлом на 200 мл	—	15	30
Капельницы с притертой пипеткой на 25—50 мл	5	10	10
Капельницы разные	3	5	5
Насос водоструйный стеклянный	—	—	3
Палочки стеклянные $d=4 \div 8$ мм, кг	0,2	0,5	1,0
Пробирки химические $d=15$ мм, $l=150$ мм	10	20	30
Склянки кислотные с колпаками на 0,5 л	—	2	5
Стаканы химические высокие диаметром, мм:			
40—50	3	5	10
80—100	3	5	10
120—150	—	5	10
Тройники стеклянные $d=4 \div 5$ мм	3	5	10
Трубки стеклянные, кг, диаметром, мм:			
4—7	0,3	0,5	1,0
8—10	0,3	0,5	1
Трубки хлоркальциевые:			
прямые	5	5	10
U-образные	—	—	5
Колбы конические узкогорлые из термостойкого стекла объемом 250 мл	—	—	10
Холодильник стеклянный прямотрубный (Либиха) $l=400$ мм	—	—	2
Стекла часовые диаметром, мм:			
50	—	3	5
100	—	3	5

Посуда фарфоровая

Воронки Бюхнера $d=100$ мм	—	—	2
Вставка в эксикаторы $d=230$ мм	—	—	2
Стаканы фарфоровые объемом, мл:			
№ 3 150	—	—	2
№ 4 250	—	—	3
№ 6 600	—	—	2
№ 7 1000	—	—	1
Ступки фарфоровые № 3 $d=86$ мм	—	—	1
Пестик фарфоровый № 2 $l=119$ мм	—	—	1
Тигли фарфоровые № 4 $v=30$ мл	—	—	10
Чашки фарфоровые объемом, мл:			
№ 2 50	3	5	10
№ 3 100	3	5	10
№ 5 250	—	—	2
Шпатели фарфоровые № 1 $l=250$ мм	—	—	1

Реактивы аналитические, кг

Алюминий серно-кислый — сульфат $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	—	—	0,25
Аммиак 25—37%-ный NH_3	1	2	5
Аммоний:			
молибденово-кислый $(NH_4)_6 \cdot Mo_7 \cdot O_{24} \cdot 4H_2O$	—	0,5	0,5
надсерно-кислый — персульфат $(NH_4)_2S_2O_8$	—	—	0,25
роданид NH_4SCN	—	0,25	0,25
хлорид NH_4Cl	0,5	1,0	2,0
Анионит АВ-17-8	0,5	1,0	2,0
Ацетон CH_3COCH_3	—	2,0	2,0
Барий хлорид $BaCl_2 \cdot 2H_2O$	0,1	0,25	0,25
Вазелин технический	0,25	0,5	0,5
Водорода перекись H_2O_2 — 30%-ная (пергидроль)	—	—	0,1
Дифениламин $(C_6H_5)_2NH$	—	—	0,025
Дифенилкарбазид $(C_6H_5)_2(NH)_4CO$	—	0,25	0,25
Дифенилкарбазон $(C_6H_5)_2N_4H_2CO$	—	0,25	0,25
Диоксид кремния SiO_2	—	—	0,1
Железо-аммоний сернокислое — соль Мора	—	—	0,1
$Fe(NH_4)_2 \cdot (SO_4)_2 \cdot 6H_2O$	—	—	—

Наименование	I	II	III
Известь натронная гранулированная $\text{CaO} \cdot \text{NaOH}$	0,5	0,5	1,0
Известь хлорная техническая $\text{Ca}(\text{OCl})_2$	—	2,0	2,0
Йод металлический J	—	0,05	0,1
Индигокармин $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_2 \cdot \text{N}_2(\text{SO}_3\text{Na})_2$	—	0,05	0,1
Кальций:			
карбонат CaCO_3	0,05	0,1	0,25
хлорид кристаллический $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0,1	0,25	0,25
хлорид CaCl_2 плавленный гранулированный	1,0	1,0	2,0
Квасцы:			
алюмокалиевые $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	—	—	0,1
железоаммонийные $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	—	—	0,1
Катионит КУ.2.8 ч	1,0	2,0	2,0
Кислоты:			
азотная HNO_3	—	—	0,5
борная H_3BO_3	—	—	0,1
лимонная пищевая $\text{C}_3\text{H}_4(\text{OH})(\text{COOH})_3$	—	0,1	0,1
серная H_2SO_4 , х. ч $\rho = 1,84$	1,0	2,0	5,0
серная техническая H_2SO_4 , $\rho = 1,84$	1,0	2,0	5,0
соляная HCl х. ч., $\rho = 1,19$	3,0	5,0	5,0
соляная техническая HCl $\rho = 1,19$	5,0	5,0	10,0
сульфаминовая $\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$	—	—	0,50
сульфаниловая $\text{NH}_2\text{C}_6\text{H}_4 \cdot \text{SO}_3\text{H}$	—	—	0,025
сульфосалициловая $\text{C}_6\text{H}_3\text{ONCOOH}\text{SO}_3\text{H}$	0,025	0,025	0,05
уксусная CH_3COOH	—	0,5	1,0
щавелевая $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	—	0,025	0,05
Кобальт хлорид $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	—	—	0,1
Кислотный хромтемно-синий (ХТС)	0,05	0,1	0,1
Крахмал растворимый	—	0,1	0,25
Мурексид $\text{C}_8\text{H}_8 \cdot \text{N}_6\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	—	0,05	0,05
Нитропруссид натрия $\text{Na}_2\text{Fe}(\text{CN})_5 \cdot \text{NO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,025	0,05	0,05
Хромоген черный (ХЧ) или эриохром черный ЕТ-00	0,025	0,05	0,05
Метиловый красный (метилрот) $\text{C}_{15}\text{H}_{15} \cdot \text{ON}_3$	—	—	0,01
Метиловый оранжевый $\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_2\text{SNa}$	0,05	0,1	0,1
Феноловый красный (фенолрот) $\text{C}_{19}\text{H}_{14} \cdot \text{O}_5\text{S}$	—	—	0,01
Фенолфталеин $\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$	0,05	0,1	0,1
Индикаторная бумага универсальная. $\text{pH} = 1 \div 10$	5	10	10
Калий:			
бихромат $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (хромпик)	—	—	0,25
хромат K_2CrO_4	0,1	0,25	0,25
йодид KJ	0,1	0,5	1,0
перманганат KMnO_4	—	0,1	0,25
надсерно-кислый (персульфат) $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—	0,1
роданид KSCN	0,025	0,05	0,1
карбонат (поташ) K_2CO_3	—	—	0,25
хлорат (бертолетова соль) KClO_3	0,025	0,05	0,05
Магний хлорид $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0,1	0,25	0,25
Марганец сульфат $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,1	0,25	0,25
Марганец хлорид $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0,1	0,25	0,25
Меди сульфат (медный купорос) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	—	0,1	0,25
Метиленовая голубая $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_5\text{SCl} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	0,01	0,025	0,05
Наборы для определения жесткости трилоном, комплект	3	5	5
Натрий:			
нитрит (азотисто-кислый) NaNO_2	—	—	0,05
нитрат (азотно-кислый) NaNO_3	—	—	0,1
бикарбонат NaHCO_3	0,25	0,5	1,0
гидроксид NaOH х. ч	1,0	1,0	2,0
NaOH технический	1,0	1,0	2,0
цитрат трехзамещенный $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_{17} \cdot \text{Na}_3 \cdot 5,5\text{H}_2\text{O}$	—	—	0,1
надсерно-кислый (персульфат) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	—	—	0,05
Натрий нитропруссид $\text{Na}_2\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	—	—	0,1
сульфосалицилово-кислый $\text{C}_7\text{H}_5\text{O}_6 \cdot \text{SNa} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,025	0,05	0,05
тетраборат (бура) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	0,05	0,1	0,1
тиосульфат $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,1	0,3	0,5

Наименование	I	II	III
углекислый (карбонат) сода кальцинированная (безводная) Na_2CO_3 х. ч.	0,5	1,0	2,0
то же техническая Na_2CO_3	0,5	1,0	2,0
фосфорно-кислый трехзамещенный — тринатрийфосфат $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	0,25	0,5	1,0
хлорид натрия NaCl х. ч. (поваренная соль)	0,5	1,0	2,0
Нафтиламин-альфа $\text{C}_{10}\text{H}_7\text{NH}_2$	—	—	0,1
Олово металлическое Sn , ч. гранулированное	—	0,1	0,25
Ртуть:			
азотно-кислая окисная $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	—	—	0,1
йодная красная HgJ_2	—	—	0,1
Сафранин Т — $\text{C}_{20}\text{H}_{19}\text{N}_4\text{Cl}$	—	—	0,02
Нитрат свинца $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	—	—	0,1
Нитрат серебра AgNO_3	0,1	0,25	0,25
Спирт бутиловый $\text{C}_4\text{H}_9\text{O}$	—	—	1,0
Спирт этиловый гидролизный $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	1,0	3,0	5,0
Ацетон $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$	2,0	3,0	5,0
Трилон Б — этилендиаминтетрауксуснокислый натрий ЭТД $\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($\text{Na}_2\text{H}_2\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_8\text{N}_2$)	0,25	0,5	0,5
Уголь активированный БАУ	0,5	1,0	2,0
Цинк металлический гранулированный без мышьяка Zn	0,25	0,5	1,0

Фиксаны (коробка по 10 ампул)

Йод J — 0,1 н.	—	1	1
Калий марганцево-кислый (перманганат) KMnO_4 0,1 н.	1	2	2
Натрий едкий (гидроксид) NaOH 0,1 н.	1	3	5
Натрий серноватисто-кислый (тиосульфат) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1 н.	1	2	3
Натрий хлорид NaCl 0,1 н.	1	1	1
Натрий углекислый (карбонат) Na_2CO_3 0,1 н.	1	2	3
Серебро азотно-кислое (нитрат) AgNO_3 1,0 мг/мл	1	1	1
Серная кислота H_2SO_4 0,1 н.	1	2	5
Соляная кислота HCl 0,1 н.	5	5	10
Щавелевая кислота $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0,1 н.	1	2	2
Магний хлористый MgCl_2 0,1 н.	1	2	3

Вспомогательные лабораторные материалы

Асбестовый картон толщиной 3—5 мм, м ²	0,5	1,0	1,5
Бумага наждачная различных номеров (книжки)	1	3	5
Бумага фильтровальная лабораторная, кг	6	12	20
Беззольные фильтры с синей и белой лентами $d=110$ мм, пачки	2	5	10
Бумага писчая, кг	3	5	10
Карандаши восковые для стекла, пачки	1	2	2
Клей для стекла (БФ-2), флаконы	1	2	3
Пробки корковые разные, кг	0,5	1	2
Пробки резиновые разные от 6 до 30 мм, кг	1	2	3
Трубки резиновые, кг, d, мм:			
2—4	0,5	1,0	2,0
4—8	0,5	1,0	2,0
10—12	0,5	1,0	2,0
Ведро эмалированное, шт.	1	1	2
Вата гигроскопическая медицинская, кг	0,5	1	2
Замазка менделеевская, кг	0,5	1	2
Халаты лабораторные	3	5	8
Полотенца	3	5	8
Рукавицы брезентовые, пар	1	2	3
Парафин, кг	0,1	0,1	0,25
Пемза, кг	0,25	0,25	1,0

Отбор проб растворов реагентов, воды и перегретого пара из трубопроводов должен проводиться согласно ОСТ 108 - 030:04—75 при помощи однодырчатого зонда или зонда (рис. 3.2) с косым срезом, введенным в трубу на $1/3$ ее диаметра. Отверстие должно быть направлено навстречу движению среды. Скорость в отверстии зонда должна быть равна скорости движения среды в трубопроводе. Необходимо стремиться, чтобы проба была представительной, т. е. качество пробы соответствовало качеству того объема воды, из которого она отобрана. Запрещается отбор проб из тупиковых участков трубопроводов, где нет потока.

Насыщенный пар должен отбираться: из барабанов при помощи устьевых (рис. 3.3) или дырчато-щелевых (рис. 3.4) зондов, размещенных в устьях пароводящих труб или в верхней части выносных циклонов над дырчатым потолком с отверстиями, обращенными навстречу движению пара;

из трубопроводов при помощи смесителей ЦКТИ, БПК (рис. 3.5, 3.6);

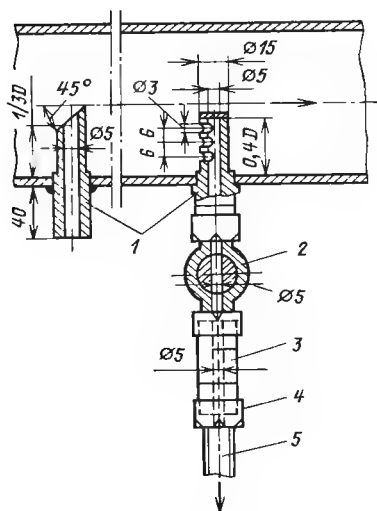


Рис. 3.2. Зонды и отборные устройства для отбора проб перегретого пара и воды, содержащей взвешенные вещества:

1 — зонды; 2 — пробковый кран; 3 — ниппель; 4 — накидная гайка; 5 — медная трубка $d_{\text{вн}} = 4 \div 6$ мм

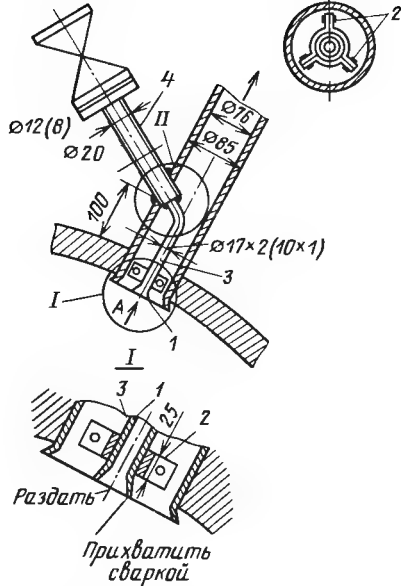


Рис. 3.3. Устьевые зонды для отбора проб насыщенного пара низкого и среднего давления: 1 — иконечник; 2 — центрирующие ребра; 3 — трубка; 4 — приварной штуцер

из баков: вода и растворы должны отбираться при помощи трубки ($d_{\text{вн}} 10-15$ мм), пропущенной в бак на высоте $1/3$ высоты бака и на расстоянии 1 м от стенок ($\sim 1/3$ диаметра) (рис. 3.7).

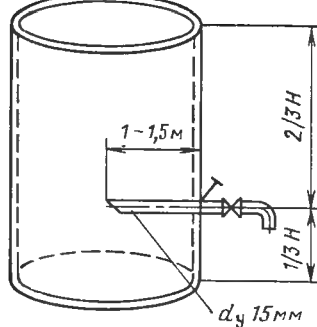
Транспортировка проб от мест отбора должна производиться трубками 10×2 мм из нержавеющей стали или красной меди.

Красная медь непригодна при температурах выше 250°C и для точек отбора конденсата или воды после теплообменников с латунными трубками, а также при наличии в пробах аммиака.

При низких давлениях для щелочных вод, котловой и химочищенной, а также сырой воды допустимо применение трубок из обычной стали.

Для пара и питательной воды должны применяться только трубки из нержавеющей стали.

Для вод с температурой до 30°C целесообразно применение пластмассовых трубок $d_{\text{вн}} = 6 \div 8$ мм, рассчитанных на имеющееся давление. Материал трубок, трасс, змеевиков не должен искажать качество проб, уменьшать или увеличивать количество загрязне-



ний, содержащихся в пробе. При температуре пробы свыше 40—50 °С должны применяться холодильники со змеевиками из трубок того же качества, которые применяются для трасс (рис. 3.8). Температура охлажденной пробы не должна превышать 30 °С, расход 30—50 л/ч, скорость в трубке не менее 0,1 м/с, запаздываемость отбора 10—20 мин.

В случае невозможности частых определений нелетучих загрязнений целесообразно ор-

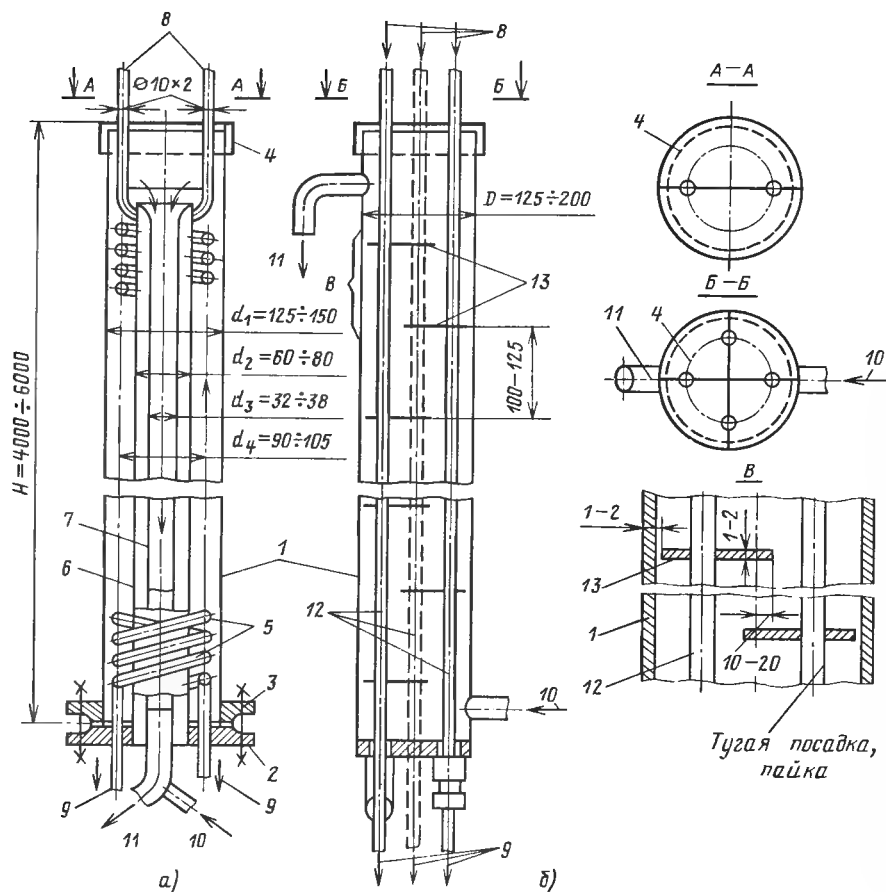


Рис. 3.8. Холодильник типа ОРГРЭС — Союзтехэнерго — Центроэнергочермет для отбора проб
 а — змеевиковый; б — прямотрубный: 1 — корпус; 2 — дно; 3 — фланец; 4 — крышка; 5 — змеевик; 6 — проб; 9 — выход проб; 10 — подвод охлаждающей воды; 11 — слив охлаждающей воды; 12 — прямые городки; в — двухточечный змеевиковый холодильник типа Центроэнергочермет: 1 — корпус; 2 — дно; 3 — б — внешняя трубка; 7 — нижнее дно вставки; 8 — верхнее дно вставки; 9 — подвод охлаждающей воды; щей воды; 13 — внешний змеевик (для пара); 14 — внутренний змеевик (для воды); 15 — муфты; 16 — 18 — отверстия для контроля плотности труб 5 и 6; 19 — вход котловой воды; 20 — вход пара; 21 — отбор проб

ганизовать отбор среднесуточных или среднесуточных проб в бутылки, помещаемые в запирающихся шкафах. Объем средней пробы, отбираемой за сутки (смену), не менее 10 л (рис. 3.9).

При анализе вод с очень малыми концентрациями определяемых примесей для получения концентрированной в 15—16 раз пробы целесообразно применять солеконцентраторы ЦКТИ. В этом устройстве кроме концентрирования примесей достигается также почти полное удаление аммиака, полное удаление свободной углекислоты и значительной части гидразина (при гидразинировании),

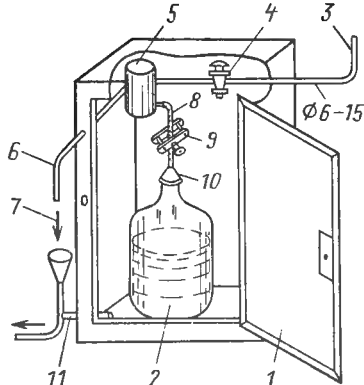
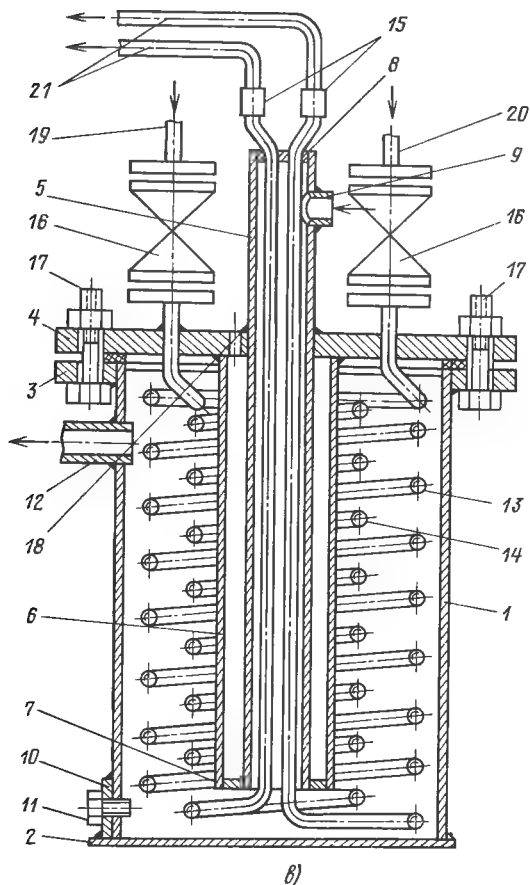


Рис. 3.9. Отбор средних проб:

1 — шкаф; 2 — бутылка; 3 — подвод отбираемой воды; 4 — регулирующий вентиль; 5 — переливной бачок; 6 — перелив; 7 — отбор разовых проб; 8 — резиновая трубка; 9 — винтовой зажим; 10 — колпачок; 11 — трубка для отвода воды из шкафа при переполнении бутылки



8)

пара и воды:

внутренняя трубка; 7 — сливная трубка; 8 — вход охлаждающие трубки; 13 — направляющие перефланец; 4 — крышка; 5 — внутренняя трубка; 10 — бобышка; 11 — болт; 12 — слив охлаждающих вентилей высокого давления; 17 — болты с гайками;

т. е. веществ, препятствующих определению содержания нелетучих «солей» по электропроводимости.

При отсутствии солемеров ЦКТИ с автоматическим упариванием и дегазацией проб (пара или конденсата) целесообразно упаривать пробы перед пропуском их через солемер с мегаомметром в 2—3 раза и вводить поправку на упаривание.

Протяженность трасс должна быть возможно короче. Они должны заканчиваться в одном месте на водном щите лаборанта или аппаратчика (рис. 3.10) см. стр. 148.

3.6. Упрощенные методики определения качества воды энергообъектов

Визуально-органолептические определения

Прозрачность (мутность) характеризуется как совершенно прозрачная, прозрачная, слабомутная, мутная, сильномутная, осадок, прозрачность воды над осадком, цвет осадка. Цветность характеризуется как бесцветная, едва заметно окрашенная в желтоватый (бурый) цвет, слабая окраска, заметная окраска, сильно окрашенная, очень сильно окрашенная. Определение запаха — отсутствие, едва заметный, заметный, сильный, очень сильный, характеризуется как болотный, аммиачный, гнилостный, сероводородный, фе-

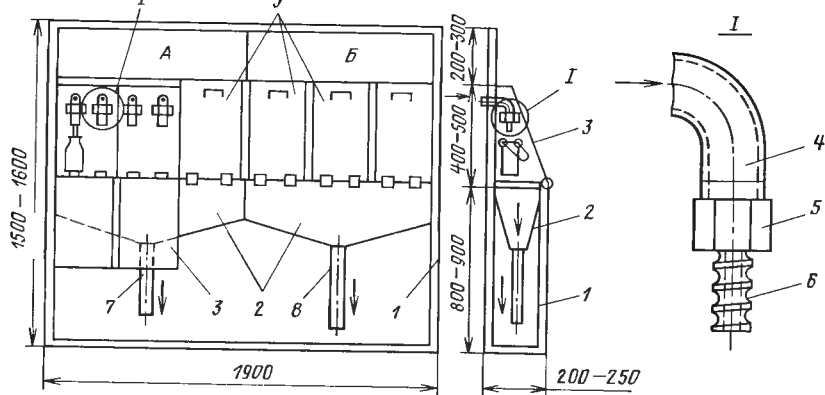


Рис. 3.10. Водный щит ЦКТИ—ОРГРЭС для ручного отбора проб воды в посуду:
 А — отборы проб пара и питательной воды; Б — отборы проб котловой воды; 1 — каркас; 2 — корыто;
 3 — откидная крышка; 4 — подводящие трубы; 5 — накидная гайка; 6 — ниппель-сосок для резиновой
 трубки; 7 — слив в дренажный бак; 8 — слив в канализацию

кальный. Определение запаха проводится при комнатной температуре и при нагревании пробы до 60—70 °С.

Количественные определения

Цветность. Сравнивают окраску профильтрованной пробы исходной воды с эталонными хроматно-кобальтовыми растворами, приготовленными из растворов № 1 и 2, взятыми в соответствующих количествах:

Шкала цветности	0	5	10	15
Раствор № 1, мл	0	1	2	3
Раствор № 2, мл	100	99	98	97

Продолжение

Шкала цветности	20	25	30	40
Раствор № 1, мл	4	5	6	8
Раствор № 2, мл	96	95	94	92

Прозрачность. В воду, налитую в цилиндр $d=40\div 50$ мм, бутылку или склянку высотой не менее 40 см, опускают кольцо из черной проволоки толщиной 1 мм. Диаметр кольца 20 мм. Кольцо изготовлено на конце прямого участка проволоки и изогнуто под углом 90° к нему. Медленно опускают кольцо в воду при боковом освещении на глубину, при которой кольцо станет невидимым, и отмечают глубину погружения его в сантиметрах. Затем медленно поднимают кольцо, отмечают глубину, при которой оно снова начинает быть видимым. Средняя величина из этих двух измерений и характеризует прозрачность воды в сантиметрах «по кольцу». Перевод

прозрачности «по кольцу» в прозрачность «по шрифту» (Снеллена), которая определяется с использованием специального цилиндра, приведен ниже:

Прозрачность, см:					
по «кольцу»	3		5		7
по «шрифту»	1		2,5		4
Взвешенные вещества, мг/л	200	100	100	85	35—25

Продолжение

Прозрачность, см:					
по «кольцу»	10		15		20
по «шрифту»	6		10		14
Взвешенные вещества, мг/л	50—14		30—10		17 10

Продолжение

Прозрачность, см:					
по «кольцу»	24		28		30
по «шрифту»	17		19		21
Взвешенные вещества, мг/л	12—8		9—6		8 5

Продолжение

Прозрачность, см:					
по «кольцу»	33		36		40
по «шрифту»	24		26		30
Взвешенные вещества, мг/л	6—3		6—3		6—3

Колебания содержания взвеси зависят от крупности частиц и их окраски.

Взвешенные вещества (Взв) определяют по объему в мерном цилиндре

(лучше в цилиндре Лисенко) после длительного отстаивания или путем фильтрования пробы через промытый дистиллятом, высушенный при 110 °С и взвешенный беззольный фильтр. Осадок на фильтре промывают дистиллятом, высушивают при 105—110 °С и взвешивают вместе с фильтром, после чего, вычитая массу фильтра, находят массу взвешенных веществ в пробе, а затем в 1 л воды.

Взвешенные вещества в известкованной воде (из зашлавленного объема), не содержащие Fe(OH)₃, определяют титрованием пробы 0,1—1,0 М HCl по метилоранжу; 1 мл 0,1 М HCl соответствует 4,5—5,0 мг шлама (CaCO₃ + Mg(OH)₂). Титрование ведут при 60—70 °С или прибавив избыток раствора кислоты, нагрев и охладив жидкость, оттитровывают избыток HCl—0,1 н. NaOH.

Сухой остаток СО определяют выпариванием отмеренного объема профильтрованной воды—высушиванием остатка при 105—110 °С и взвешиванием. Этим методом пользуются, когда в водах (растворах) содержится не менее 100 мг/л растворенных солей. Выпаривание ведут в высушенных и взвешенных фарфоровых чашках.

Прокаленный остаток. Потерю или привес при прокаливании определяют, прокаливая сухой остаток в муфельной печи при 700—800 °С до постоянного веса. Минимально определяемая величина 10—5 мг в пробе.

Минеральный остаток (М. О.) определяется как сумма концентраций катионов и анионов $\Sigma_k + \Sigma_a = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{SiO}_2 + \text{Fe} + \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{CO}_3^{2-} + \text{PO}_4^{3-} + \text{NO}_3^-$.

Обычно в исходной и обработанной воде $\Sigma_{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+} = \Sigma_{\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{CO}_3^{2-}} + \text{Na}^+ = \Sigma_a - \Sigma_{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}$.

Удельную электропроводимость κ определяют специальными приборами—кондуктометрами или при помощи неспециализированных приборов: мегаомметров, измерителей заземления.

Масла (нефтепродукты) обнаруживаются по запаху, радужным пленкам, плавающим капелкам, мути, маслянистому пятну на фильтровальной бумаге после пропускания через нее возможно большего количества воды (конденсата) и высушивания бумаги на воздухе при температуре 40—50 °С.

Экстракционные способы с весовым, колориметрическим или люминесцентным определением экстрагированных веществ позволяют определить до 0,05 мг/л, но требуют обработки значительных объемов воды.

Окисляемость перманганатная (по Кубелю, в кислой среде при содержании Cl⁻ не более 50 мг/л). К 100 мл исследуе-

мой воды прибавляют 10 мл 10 н. H₂SO₄, нагревают до кипения, затем приливают 10 мл 0,01 н. KMnO₄. Кипятят 10 мин и, добавив в колбу 10 мл 0,01 н. H₂C₂O₄, титруют обесцвеченную горячую жидкость 0,01 н. KMnO₄ до появления слабой не исчезающей розовой окраски. Расход KMnO₄ на обратное титрование записывают *a*, мл. Если поправочные коэффициенты титрованных растворов перманганата калия и щавелевой кислоты равны единице, то окисляемость определяется по формуле 0,8 *a* мг/л O₂.

При содержании Cl⁻ более 50 мг/л пробу разбавляют дистиллятом так, чтобы содержание Cl⁻ в пробе не превышало 5 мг. При расчете окисляемости учитывают разбавление.

Кислород. Йодометрическое определение по Винклеру применяют при содержании O₂ более 0,2 мг/л. Через колбу или парфюмерную склянку на 200—300 мл с точно измеренным (взвешиванием) объемом пропускной трубки ($d_{\text{вн}} = 4 \div 5$ мм) исследуемую воду с температурой не выше 30 °С до заполнения склянки, а затем и ведерко, в котором установлена склянка, и создания над горлышком склянки слоя воды не менее 5—7 см (рис. 3.11, а).

Количество пропускаемой воды должно быть не меньше 8—10-кратного объема колбы или парфюмерной склянки. Диаметр горлышка склянки должен быть в 2—2,5 раза больше наружного диаметра трубки, и проток воды должен быть спокойным. Попадание пузырьков воздуха в склянку должно быть исключено.

По окончании заполнения склянки и ведерка водой трубку из склянки осторожно вынимают, сразу же после выемки трубки из горлышка склянки отводят кончик трубки в сторону.

Затем в склянку, находящуюся под водой, при помощи пипеток с тонкими оттянутыми концами вводят по 1 мл марганцового раствора (MnSO₄—MnCl₂) и щелочного раствора йодистого калия (KJ+NaOH); под водой же закрывают склянку косо срезанной резиновой пробкой, не допуская попадания под пробку пузырьков воздуха. Плотнo закрыв под водой склянку, ее вынимают из ведерка, перемешивают содержимое, несколько раз опрокидывая склянку, чтобы все ее содержимое помутнело (белый цвет мутн свидетельствует об отсутствии или малом содержании кислорода, желтоватый цвет — о его наличии). Затем в течение нескольких минут дают осадку осесть, и, открыв склянку, вводят в нее 3 мл H₂SO₄. Закрыв пробкой склянку, ее содержимое перемешивают. Затем в лаборатории его переливают из склянки в коническую колбу и, прилив 1 мл крахмала, титруют 0,01 н. раствором тиосуль-

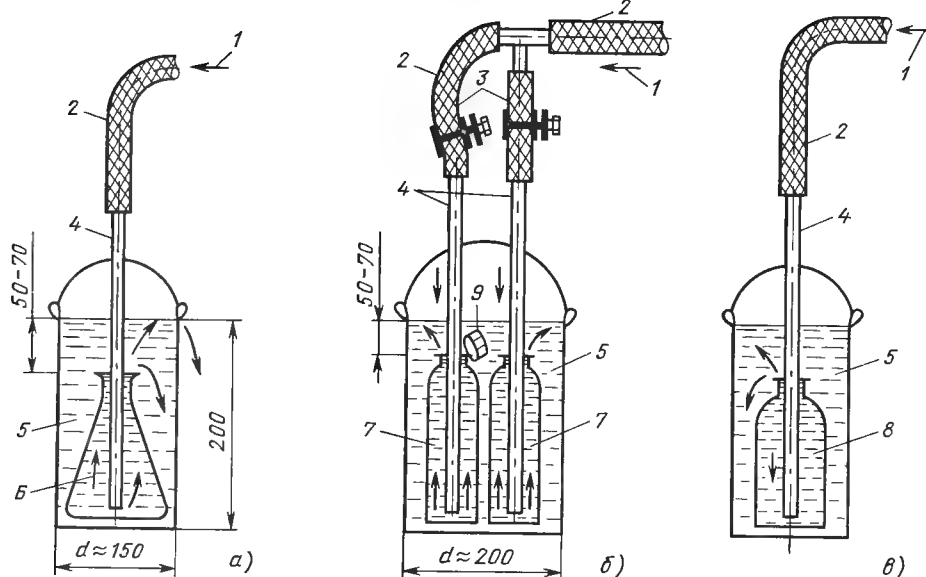


Рис. 3.11. Отбор проб для определения кислорода:

а — йодометрический по Винклеру; *б* — йодометрический с двойным отбором; *в* — колориметрический; 1 — подвод воды с $t < 30^\circ\text{C}$; 2 — резиновая трубка; 3 — зажимы винтовые; 4 — стеклянные трубки $l \approx 400$ мм; $d = 3 \div 5$ мм; 5 — ведро; 6 — колба-склянка на 250—300 мл; 7 — парфюмерная склянка на 100—150 мл из бесцветного стекла; 8 — склянка; 9 — крышка

фата натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ до исчезновения синей окраски. Если содержимое колбы до приливания крахмала имело желтую или бурую окраску, то пробу до приливания крахмала титруют 0,01 н. раствором $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ до сильного ослабления окраски. Концентрацию кислорода находят по формуле

$$\text{O}_2 = \frac{(a + б) \cdot 0,08 \cdot 1000}{V}$$

Здесь V — объем склянки, мл; a и $б$ — расход тиосульфата натрия (общий), мл; 0,08 — эквивалент 1 мл 0,01 н. тиосульфата натрия по O_2 .

Йодометрическое определение кислорода с двойным отбором проб (рис. 3.11, б) является модификацией метода Винклера, позволяющей уменьшить погрешности, вызванные наличием в воде восстановителей и окислителей, а также повышенной температурой воды.

В две одинаковые склянки емкостью примерно по 0,5 л отбирают, как описано выше, анализируемую воду. В одну склянку вводят 1 мл раствора соли марганца, точно 3 мл раствора щелочи, содержащего в 100 мл дистиллированной воды 36 г NaOH , 20 г KJ и 0,05 г KJO_3 ; склянку закрывают под водой, содержимое перемешивают и дают осадку несколько осесть. После этого вводят кислоту, снова перемешивают и оттитровывают выделившийся йод 0,01 н. раствором тиосульфата

натрия. Расход тиосульфата A_1 отвечает содержанию кислорода в объеме первой склянки V_1 , введенному количеству йодата калия, содержанию окислителей минус содержание восстановителей также в объеме склянки V_1 :

$$A_1 = (\text{O}_2) \frac{V_1}{1000} +$$

$$+ (\text{JO}_3^-) + (\text{окислители-восстановители}) \times$$

$$\times \frac{V_1}{1000} + 0,005.$$

Последнее слагаемое 0,005 отвечает содержанию кислорода, растворенного в объеме введенных реактивов, мг. Во вторую склянку вводят сначала кислоту, а затем ровно 3,00 мл щелочного раствора, содержащего йодид и йодат калия, и, наконец, 1 мл раствора марганца. Выделившийся йод оттитровывают 0,01 н. раствором тиосульфата натрия. Расход A_2 отвечает количеству введенного йодата, а также окислителям минус восстановители в объеме склянки V_2 :

$$A_2 = (\text{окислители-восстановители}) \times \frac{V_2}{1000} + (\text{JO}_3^-).$$

Если объемы склянок равны, то

$$(O_2) = \frac{(A_1 - A_2)k \cdot 0,08 - 0,005}{V} 1000$$

Здесь k — поправочный коэффициент для имеющегося раствора тиосульфата натрия к раствору 0,01 н.; V — объем склянки, мл; (O_2) — содержание кислорода, растворенного в литре анализируемой воды, мг.

Температура обеих проб во время титрования должна быть возможно ниже 10—15 °С и обязательно одинаковой.

Колориметрический метод с применением метиленового голубого основан на количественном окислении кислородом, содержащимся в пробе бесцветного лейкосоединения метиленового голубого.

Этот метод пригоден для определения малых концентраций O_2 .

Необходимая посуда: парфюмерные склянки на 200 мл одинаковой формы из бесцветного стекла с широким (15—20 мм) горлом 5—7 шт., ведро $d=150$ мм, $h=250$ мм, резиновая трубка со стеклянным наконечником, имеющим оттянутый конец.

Реактивы: раствор метиленового голубого: 0,125 г реактива и 1,2 г глюкозы растворяют в 50 мл дистиллированной воды и, перелив в мерную колбу на 500 мл, доводят до метки чистым глицерином (марка ч.д.а), хранят в темноте; 30 %-ный раствор КОН; восстановленный раствор метиленового голубого: 50 мл глицеринового раствора метиленового голубого смешивают с 1 мл 30 % раствора КОН и заливают в бюретку с тонким оттянутым концом; сверху в бюретку заливают слой вазелинового масла толщиной 2—3 см, чтобы защитить раствор от контакта с воздухом; восстановление протекает медленно (в течение часа), раствор при этом обесцвечивается; стандартный раствор метиленового голубого: 4,7 мл глицеринового раствора метиленового голубого разбавляют в мерной колбе на 500 мл дистиллированной водой, интенсивность окраски этого раствора соответствует 100 мкг/л O_2 ; шкала имитаторов: в 5 мерных колб объемом по 250 мл вводят различные количества стандартного раствора метиленового голубого и дистиллированную воду. После перемешивания заполняют приготовленными растворами парфюмерные склянки из бесцветного стекла и плотно закупоривают.

Растворы для шкалы имитаторов готовят согласно приведенным данным:

Номер склянки	1	2	3
Количество стандартного раствора метиленового голубого, мл	12,5	25,0	50,0
Вода дистиллированная, мл	237,5	225	200
Соответствует содержанию O_2 , мкг/л	5	10	20

	Продолжение	
Номер склянки	4	5
Количество стандартного раствора метиленового голубого, мл	125,0	250
Вода дистиллированная, мл	125,0	—
Соответствует содержанию O_2 , мкг/л	50	100

На склянках указывают концентрации кислорода. Излишки растворов выливают. Определение проводят следующим образом. Одну рабочую склянку, помещенную в ведро, заполняют испытуемой водой, по методу Винклера. Затем из бюретки с восстановленным бесцветным щелочным водно-глицериновым раствором метиленового голубого в парфюмерную склянку вводят 2 мл раствора. Склянку под слоем воды закупоривают, содержимое перемешивают и не позже как через 1 мин сравнивают окраску с эталонными растворами.

Температура жидкости не должна превышать 20—25 °С. Если такой температуры не удастся достичь, то для восстановления метиленового голубого следует применять амальгамированный цинк, а для растворения метиленового голубого применять не глицерин, а смеси равных объемов воды и ацетона или воды и этилового спирта.

Следует заметить, что объективную информацию о содержании растворенного кислорода можно получить, только пользуясь автоматическими кислородомерами с непрерывной записью. Аналитические методы не могут фиксировать изменений содержания кислорода, обусловленных колебаниями режима работы деаэраторов, т. е. изменением производительности, нарушениями температуры деаэрируемой воды, изменением (чаще всего сокращением) размера выпара и т. д.

Водородный показатель рН. Значение рН можно определить при помощи универсальной индикаторной бумаги, смачивая полоску исследуемой водой и немедленно сравнивая ее окраску с прилагаемой к набору индикаторной бумаги шкалой.

Более точно определять значение рН можно при помощи жидких индикаторов, используя данные табл. 3.5.

Основными индикаторами при анализе воды являются фенолфталеин и метилоранж или смешанные индикаторы.

Кислотность по метилоранжу (при $pH < 3$ в анализируемой воде присутствуют сильные кислоты — соляная, серная, азотная и т. д.). Отмеренный объем воды титруют 0,1 или 0,01 н. раствором щелочи NaOH в присутствии метилоранжа до чисто желтого

Таблица 3.3. Окраска растворов индикаторов при различных рН

Индикатор	Концентрация индикатора, %	Растворитель	Число капель индикатора на 100 мл воды	Изменение окраски пробы в зависимости от рН при 18 °С			
Метилвиолет	0,1	Вода	3—5	0,13; желтая	0,5—1,0; зеленая	1,5—2,0; синяя	3; фиолетовая
Конго рот	0,1	»	3—5	3,0; синяя	3,5—4,5; фиолетовая	5,2; красная	
Метилоранж	0,1	»	3—5	3,1; красная	3,5—4,0; оранжевая	4,4; желтая	
Смешанный индикатор I: метилоранж + индигокармин	0,1 г 0,25 г	Вода до 100 мл	3—5	3,1 фиолетовая	3,5—4,0 серая	4,4 зеленая	
Метил-рот	0,1—0,2	Спирт 60°-ный	5—6	4,4 красная	6,2 желтая		
Смешанный индикатор II: метил-рот + метиленблау	0,125 г 0,085 г	50 мл спирта 96°-ного 50 мл воды; смешивают	5—8	4,2 фиолетовая	4,8—5,8 серая	6,2 зеленая	
Ализарин-рот	0,1	Вода	5—8	3,7 желтая	5,2—10,0 фиолетовая	12 бледно-желтая	
Бромтимолблау (используют два типа растворителей)	0,05—0,01	1. 20%-ный спирт или II. вода с 3,2 мл 0,05 н. NaOH на 100 мл	5—8	6,0 желтая	7,0 зеленая	7,0 синяя	
Фенол-рот (используют два типа растворителей)	0,1	1. 20%-ный спирт или II. вода с 5,7 мл 0,05 н. NaOH на 100 мл	5—8 /	6,8 желтая	7,5 оранжевая	8,0 красная	
Фенолфталеин	1	Спирт	3—5	8,1 бесцветная	8,3—8,5 слаборозоватая	10,0 пурпурно-малиновая	
Тимолфталеин	0,1	90%-ный спирт	5—8	9,4 бесцветная	10,0 голубая	10,6 синяя	
Индигокармин	0,25	50%-ный спирт		11,6 синяя		14,0 желтая	

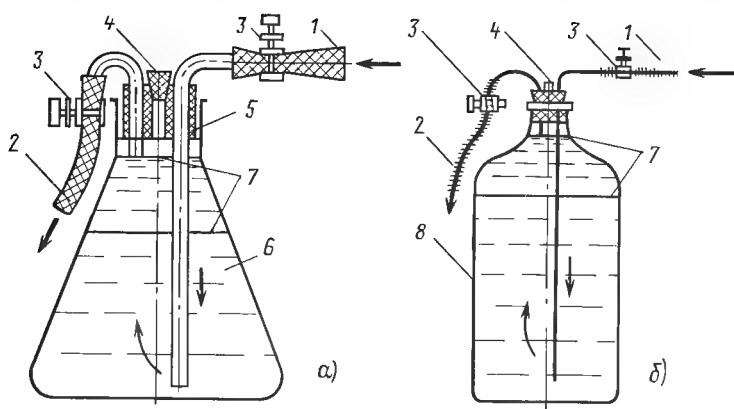


Рис. 3.12. Отбор проб для определения свободной углекислоты:

а — вариант с колбой; б — вариант с бутылкой; 1 — вход воды; 2 — слив воды; 3 — зажим винтовой; 4 — малая пробка $d=5 \div 8$ мм; 5 — большая пробка; 6 — колба объемом 300–500 мл; 7 — метки; 8 — бутылка объемом 1,5–2 л

цвета. Кислотность вычисляют по формуле

$$A = \frac{aNk}{V} 1000,$$

где A — кислотность, мг-экв/л; a — расход раствора щелочи, мл; N — номинальная нормальность щелочного раствора; k — поправочный коэффициент к номинальной нормальности; V — объем анализируемой воды, использованный для определения кислотности, мл; 1000 — пересчет к литру.

Углекислота свободная. Собирают прибор (рис. 3.12) и через трубку 1 пропускают через колбу 8 10 объемов анализируемой воды, сливая ее через трубку 2. Затем колбу со всем оборудованием отключают от пробоотборного устройства, закрывают зажимы 3 и переносят отобранную пробу в лабораторию. Присоединив трубку 2 к поглотителю CO_2 , сливают через неё часть жидкости до метки на стенке колбы. Таким образом, в колбе остается отмеренный заранее объем анализируемой воды, обычно равный 300–500 мл. После этого вынимают пробку 4, закрывавшую отверстие в пробке 5, и вводят через него несколько капель раствора фенолфталеина и из бюретки избыток, точно отмеренный, раствора щелочи 0,1 н. концентрации. Вся жидкость в колбе должна окраситься в ярко-малиновый цвет. В противном случае надо добавить еще отмеренное количество раствора щелочи 0,1 н. концентрации. Пробку 5 убирают и титруют избыток щелочи 0,1 н. раствором кислоты до ослабления, а затем исчезновения розовой окраски жидкости. Отмечают общее количество введенной щелочи $A_{\text{ш}}$, израсходованное количество кислоты

A_k , объем анализируемой воды в колбе V и вычисляют содержание свободной углекислоты CO_2 , мг/л, по формуле

$$\text{CO}_2 = \frac{(A_{\text{ш}}k_{\text{ш}} - A_kk_k) 4,4}{V} 1000.$$

Здесь $k_{\text{ш}}$ и k_k — поправочные коэффициенты к точной номинальной нормальности для растворов щелочи и кислоты соответственно; 4,4 — эквивалент CO_2 в данной реакции, деленный на десять, т. е. отнесенный к децинормальной концентрации используемых растворов.

Вместо колбы объемом 300–500 мл можно применять склянки объемом 1,5–2 л, что в несколько раз увеличивает точность определения CO_2 .

Определение различных форм углекислых соединений, содержащихся в природных водах. В природных водах могут содержаться различные углекислые соединения, а именно ионы HCO_3^- и CO_3^{2-} , молекулы CO_2 и H_2CO_3 . Между ними существуют определенные количественные соотношения. Различают следующие формы углекислоты:

- связанная неагрессивная CO_3^{2-} и HCO_3^- ;
- свободная равновесная CO_2 , инактивная по отношению к CaCO_3 ;
- свободная агрессивная CO_2 , растворяющая CaCO_3 .

Данные ВНИИ Водгео по содержанию равновесной углекислоты в зависимости от величины бикарбонатной щелочности приведены в табл. 3.6.

Если из количества свободной углекислоты, определенной непосредственно титрованием,

Таблица 3.6. Сопоставление различных форм углекислотных соединений при 18—20°C

Бикарбонатная щелочность, мг-экв/л (мг/л)	Равновесная углекислота, мг/л	Бикарбонатная щелочность, мг-экв/л (мг/л)	Равновесная углекислота, мг/л
0,1 (4,4)	—	2 (88)	2,27
0,25 (11)	0,01	2,5 (110)	3,9
0,5 (22)	0,13	3 (132)	6,4
1,0 (44)	0,6	4 (176)	15,9
1,5 (66)	1,24	5 (220)	≥45

ем 0,1 н. NaOH, вычсть необходимое для равновесия количество углекислоты, то разность даст представление о приблизительном содержании агрессивной углекислоты, способной растворять CaCO₃.

Для непосредственного определения агрессивной углекислоты исследуемой водой наполняют две одинаковые колбы объемом 250 - 300 мл. В одну из них всыпают 1 г измельченного мрамора или мела (CaCO₃). Обе колбы плотно закрывают пробками, не оставляя под пробками воздуха. Колбу с добавленным мелом энергично перемешивают и оставляют в покое. Через сутки из каждой колбы пипеткой отбирают по 100 мл воды, не захватывая осадка, прибавляют метилоранж и титруют 0,1 н. HCl. Повышение щелочности в пробе воды из колбы, куда добавлялся мел, по сравнению с водой из колбы, куда мел не добавлялся, служит признаком наличия агрессивной углекислоты; количество ее определяют по формуле

$$\text{CO}_2 = (\text{Щ}_{\text{II}} - \text{Щ}_{\text{I}}) 44 \text{ мг/л},$$

где CO₂ — содержание агрессивной углекислоты, мг/л; Щ_{II}, Щ_I — щелочность воды с добавками мела и без нее, мг-экв/л. (Количество агрессивной углекислоты фактически несколько меньше, так как часть ее становится равновесной.)

Щелочность. 100 мл воды титруют 0,01 или 0,1 н. раствором HCl или H₂SO₄ до исчезновения розовой окраски по фенолфталеину и перехода желтой окраски по метилоранжу в оранжевую или розоватую (Щ_ф и Щ₀). Вместо метилоранжа применять смешанный индикатор, в особенности при искусственном освещении.

1 мл 0,1 н. HCl или H₂SO₄ при титровании пробы объемом 100 мл соответствует 1 мг-экв/л.

Щелочность общая Щ₀ = Щ_ф + Щ_{мо}, где Щ_ф — расход 0,1 н. кислоты до обесцвечивания фенолфталеина; Щ_{мо} — расход 0,1 н. кислоты от обесцвечивания фенолфталеина до

перехода окраски метилоранжа или смешанного индикатора.

Щелочность гидратная Щ_г = Щ_ф — Щ_{мо}.

Щелочность карбонатная Щ_к = 2Щ_ф, если Щ_ф < Щ_{мо}, или Щ_к = 2Щ_{мо}, если Щ_ф > Щ_{мо}.

Щелочность бикарбонатная Щ_б = Щ_{мо} — Щ_ф.

Карбонатный ион CO₃²⁻ = Щ_к · 30, мг/л; бикарбонатный ион HCO₃⁻ = Щ_б · 61 мг/л; гидратный ион OH⁻ = Щ_г · 17, мг/л.

Гуматы (в отсутствие фосфатов). 100 мл воды нейтрализуют HCl (H₂SO₄) по метилоранжу, дают 1—3 капли избыточной кислоты и кипятят 3 мин для удаления CO₂. Затем охлаждают, точно нейтрализуют 0,1 н. NaOH до строго нейтральной реакции по метилоранжу и, прибавив две-три капли фенолфталеина, титруют жидкость от желтой окраски метилоранжа до розовой окраски фенолфталеина. 1 мл 0,1 н. NaOH соответствует 1 мг-экв/л гуматов.

Жесткость общая. Комплексно-метрический (трилонометрический) метод. а) Малые величины жесткости (<0,5 мг-экв/л). К 100 мл нейтральной по метилоранжу воды приливают 5 мл аммиачного буферного раствора (смеси равных объемов 5 %-ного раствора аммиака и 5 %-ного раствора NH₄Cl⁻) и три-четыре капли индикатора хромотно-синего и титруют 0,005 М раствором трилона Б до перехода розовой окраски в сиренево-голубую.

1 мл 0,005 М раствора трилона Б соответствует при титровании пробы объемом 100 мл 0,1 мг-экв/л жесткости.

При наличии в исследуемой воде Cu²⁺ и Zn²⁺ перед титрованием вместе с буферным раствором в пробу вводят 1 мл 1 %-ного раствора Na₂S.

б) Средние величины жесткости (0,5—5 мг-экв/л). Вся операция титрования проводится точно так же, как и при малой жесткости (<0,5 мг-экв/л), но титрование ведут 0,05 М раствором трилона Б, 1 мл которого соответствует 1 мг-экв/л, при титровании 100 мл воды. При жесткости, значительно большей 5 мг-экв/л, пробу разбавляют дистиллятом в 2—3 раза, учитывая при расчетах степень разбавления.

При определении жесткости свыше 0,5 мг-экв/л можно применять индикатор хромоген черный или эриохром черный Т, при этом целесообразно применять боратно-буферный раствор в тех же количествах, что и аммиачный.

в) Кальциевая жесткость Ж_{Ca} с мурексидом. В одной пробе определяют общую жесткость согласно п. «б», в другую пробу объемом 100 мл вводят 5 мл 2 н. NaOH и две

Т а б л и ц а 3.7. Определение содержания железа

Окрашивание при рассматривании		Ориентировочное содержание Fe, мг/л
сбоку	сверху	
Окрашивания нет		Менее 0,05
Едва заметное желтовато-розовое		0,1
Очень слабое желтовато-розовое	Светлое желтовато-розовое	0,25
Слабое желтовато-розовое		0,5
Светлое желтовато-розовое	Желтовато-розовое	1
Желтовато-розовое	Желтовато-красное	2
Светлое желтовато-красное	Ярко-красное	> 2

пять капль мурексид (0,03 г в 10 мл воды)* и титруют раствором трилона Б соответствующей концентрации до перехода оранжево-розового цвета жидкости в сиренево-фиолетовый; 1 мл 0,05 М раствора трилона соответствует 1 мг-экв/л J_{Ca} или 20 мг/л Ca^{2+} . Магннвную жесткость находят, вычитая кальциевую из общей.

Железо Fe. а) Ориентировочное определение. В пробирку из бесцветного стекла ($d=15$ мм, $l=150$ мм) наливают 10 мл (до метки) исследуемой воды, добавляют две капли концентрированной H_2SO_4 (1:3) и несколько кристаллов персульфата аммония $(NH_4)_2S_2O_8$ (или бертолетовой соли $KClO_3$, или две-три капли перекиси водорода H_2O_2) и 0,2 мл — четыре капли роданата $NH_4SCN - KSCN$ (50 %). После внесения в пробирку каждого реактива содержимое перемешивают и затем нагревают до 60–70 °С в кипящей воде.

По интенсивности окрашивания на белом фоне находят приблизительное содержание железа, руководствуясь данными, приведенными в табл. 3.7.

Можно изготовить эталонную шкалу из железоаммиачных квасцов на приведенные выше концентрации Fe, но следует заметить, что окраска эталонов бледнеет довольно быстро.

б) Комплексонометрическое определение. В колбу 300–500 мл наливают 200 мл исследуемой воды, 10 мл 1 н. H_2SO_4 или HCl , добавляют несколько кристаллов $(NH_4)_2S_2O_8$ и нагревают на плитке или водной бане до 60–70 °С. Затем прибавляют 0,5 мл 50 %-ного раствора сульфосалициловой кислоты и титруют раствором трилона Б до исчезновения розовой окраски.

* В связи со сравнительно редкими определениями концентрации Ca^{2+} и нестойкостью растворов мурексид вместо раствора следует применять сухой мурексид в количестве 0,05–0,1 г/пробу.

1 мл 0,005 М раствора трилона Б соответствует 0,279 мг Fe. Целесообразно для большей точности титрование вести со свидетелем — небольшим недотитрованной второй пробой исследуемой воды.

Медь. Колориметрическое качественное определение Cu^{2+} . К пробе воды, упаренной в фарфоровой чашке в 4–5 раз и охлажденной, прибавляют 3–5 мл 25 %-ного раствора NH_3 . Голубоватое или синее окрашивание свидетельствует о присутствии в воде Cu^{2+} .

Количественное определение Cu^{2+} выполняют колориметрированием окраски с курризомом или диэтилдитиокарбаматом.

Аммиак. К 10 мл исследуемой воды в пробирке добавляют 0,5 мл 10 % раствора сегнетовой соли, 0,2 мл реактива Несслера и колориметрируют по эталонам NH_4Cl (0,2–0,5–0,7–1,0–2–3–5 мг/л NH_3).

Нитриты. К 10 мл исследуемой воды в пробирке добавляют 0,5 мл раствора реактива Грисса (или щепотку сухого), нагревают 10 мин в кипящей воде и сравнивают с окраской эталонных растворов $NaNO_2$ с концентрацией 0,001–0,002–0,005–0,007–0,01–0,02–0,05–0,07–0,1 мг/л, обработанных таким же образом, как и проба исследуемой воды. При содержании NO_2^- более 0,1 мг/л исследуемую воду разбавляют до концентрации, меньшей 0,1 мг/л.

Нитраты NO_3^- . Количественное определение проводят сульфифеноловым или сульфосалициловым реактивом. Определение содержания NO_3^- требуется редко, так как нормы на нитраты или отсутствуют, или имеют весьма широкий диапазон для вод тепловых объектов.

Хлориды (хлор-ион Cl^-). Отбирают такой объем анализируемой воды, чтобы содержание хлор-иона Cl^- в нем не превышало 5 мг, доливают дистиллированной водой примерно до 100 мл, вводят индикатор и титруют раствором нитрата ртути, один миллилитр которого соответствует 1 мг Cl^- .

В качестве индикатора при анализе прозрачных вод применяют нитропруссид натрия, который прибавляют в сухом виде в количестве примерно 0,05 г. Титрование при этом ведут до появления опалесценции (мутности), образующейся после полного связывания хлоридов ртути в малодиссоциированное соединение HgCl_2 .

При анализе не совсем прозрачных вод в качестве индикатора применяют дифенилкарбазид, который вводят в виде 0,2 %-ного спиртового раствора в количестве 5–7 капель. Титрование заканчивают при появлении красно-фиолетового окрашивания раствора.

Содержание хлор-иона вычисляют по формуле

$$(\text{Cl}) = \frac{(A - 0,05)B}{v} 1000 \text{ мг/л.}$$

Здесь A — расход раствора ртути на титрование, мл; B — количество хлор-иона, отвечающее 1 мл ртутного раствора, мг; 0,05 — количество ртутного раствора, расходующееся на индикатор, мл; v — объем воды, взятый для определения, мл.

Фосфаты PO_4^{3-} . а) Определение титрованием при концентрациях более 10 мг/л в отсутствие гуматов. 100 мл котловой воды нейтрализуют по метилоранжу 0,1–1,0 н. HCl , кипятят, охлаждают, усредняют по метилоранжу и, прибавив 5 г сухого NaCl и 5–7 капель фенолфталеина, титруют 0,05–0,1 н. NaOH до перехода оранжевой окраски (от мо) через желтую в розовую (от фф). 1 мл 0,1 н. NaOH соответствует 9,5 мг/л PO_4^{3-} . $\text{PO}_4^{3-} = 95 \cdot A$, где A — расход 0,1 н. NaOH до перехода от желтого к розовому.

б) Колориметрическое определение в котловой воде при содержании PO_4^{3-} — от 1 до 10 мг/л. В пробиркувливают 5 мл анализируемой воды, 1 мл серной кислоты и 1 мл раствора молибдата аммония. После перемешивания добавляют 2–3 капли раствора олова, перемешивают и через 3–5 мин сравнивают окраску со шкалой эталонов (табл. 3.8).

В ряд пробирок вливают вышеуказанные количества растворов хромокалиевых квасцов, серно-кислой меди и дистиллированной воды. Пробирки закупоривают, содержащее перемешивают; шкала устойчива. Если анализируемая вода имеет окраску, то применяют компаратор или корректируют окраску эталонов изменением дозирования.

Серная кислота: в 1 литр дистиллированной воды вливают 170 мл концентрированной серной кислоты, перемешивают.

Молибдатный раствор: 5 г молибденово-кислого аммония растворяют в 95 мл дистиллированной воды. Не следует готовить значительные объемы этого раствора

Таблица 3.8. Шкала эталонов для определения фосфатов молибдатным способом по синему комплексу

Добавляемое количество раствора, мл			Окраска отвечает содержанию PO_4^{3-} , мг/л, если для анализа берут 5 мл воды
хромокалиевых квасцов	серно-кислой меди	дистиллированной воды	
0,32	0,38	6,30	1
0,64	0,76	5,60	2
0,96	1,13	4,90	3
1,28	1,51	4,20	4
1,60	1,88	3,52	5
2,24	2,64	2,12	7
3,20	3,76	—	10

вследствие его неустойчивости. Для повышения стабильности можно добавить 2–3 мл концентрированной серной кислоты.

Раствор хлористого олова: 2,5 г двуххлористого олова $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ растворяют в 100 мл глицерина, нагреваемого на кипящей водяной бане. Кристаллы хлористого олова растирают стеклянной палочкой для ускорения растворения. Реактив устойчив, его хранят в капельнице.

Раствор серно-кислой меди: 20 г серно-кислой меди $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ растворяют в 100 мл дистиллированной воды. После растворения приливают 5–7 капель концентрированной серной кислоты.

Раствор хромо-калиевых квасцов: 5 г квасцов $\text{Cr}_2\text{K}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ растворяют в 100 мл дистиллированной воды. Для стабилизации прибавляют 5–7 капель концентрированной серной кислоты.

Сульфаты SO_4^{2-} . а) Весовой метод. Определение этим методом выполняется в отдельных сложных случаях. В зависимости от концентрации SO_4^{2-} порцию воды (чтобы осадок был не менее 50 мг) подкисляют 1–5 мл концентрированной HCl (1:1) или HNO_3 , нагревают до кипения и осаждают BaSO_4 избытком $\text{BaCl}_2 - \text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, перемешивают, проверяют полноту осаждения. Через несколько часов фильтруют жидкость (не перемешивая) через беззольный фильтр, осадок смывают со стенок стакана и количественно переносят на фильтр. Промывают 5–6 раз горячим дистиллятом из промывалки, фильтр с осадком высушивают, сжигают во взвешенном фарфоровом тигле и прокаливают до постоянного веса. Умножив массу осадка на 0,4116, находят содержание SO_4^{2-} во взятом для анализа объеме воды.

б) Катионитный метод. Воду пропускают через свежееотрегенированный раствором

НСИ и отмытый лабораторный фильтр, загрязненный катионитом КУ-2-8 или КУ-1 (сульфат уголь нежелателен). Первые 100—300 мл профильтрованной исследуемой воды сбрасывают, затем отбирают три пробы по 100 мл, прибавляют по 3—4 капли метилоранжа и определяют их кислотность (она должна быть одинакова).

Содержание SO_4^{2-} , мг/л, находят по формуле

$$\text{SO}_4^{2-} = 48(K - \text{Cl}^- - \text{NO}_3^- - \text{PO}_4^{3-}),$$

где K — кислотность, мг-экв/л; Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} определяются в отдельных пробах в мг-экв/л.

Обычно содержание NO_3^- и PO_4^{3-} в природных водах невелико, и им можно пренебречь.

в) Комплексонометрический метод. В первой пробе объемом 100 мл определяют жесткость трилоном Б, как обычно.

Во вторую пробу объемом 200 мл вливают 5 мл HCl (1:1) и избыток 0,1 н. BaCl_2 (до прекращения помутнения). Жидкость нагревают, дают осадку осесть в течение 5—6 ч, затем осадок отфильтровывают и слегка промывают горячим дистиллятом из промывалки. Отфильтрованную жидкость делят на две равные части. Одну нейтрализуют NaOH по метилоранжу, а во вторую, не приливая метилоранжа, добавляют пошедшее на титрование количество 0,1 н. NaOH , 5 мл буферной аммиачной смеси, 5—6 капель индикатора хромтенно-синего и титруют 0,1 н. раствором трилона Б, как обычно, от розоватой окраски до синево-голубой.

Содержание SO_4^{2-} , мг-экв/л, находят по формуле

$$\text{SO}_4^{2-} = 48(0,5A_1 - 2A_2 + Ж_0).$$

Здесь A_1 — количество 0,1 н. BaCl_2 , добавленного во 2-ю пробу; A_2 — количество 0,1 н. раствора трилона Б, израсходованное на титрование половины 2-й пробы; $Ж_0$ — жесткость воды.

Сульфиты (сульфит-ион SO_3^{2-}). Пробу отбирают, предохраняя ее от излишнего соприкосновения с воздухом. В колбу вводят 10 мл 0,01 н. I_2 , 100 мл исследуемой воды и 5 мл H_2SO_4 (1:1) или концентрированную HCl . Выдержав 2 мин в темноте, оттитровывают избыток I 0,01 н. раствором тиосульфата натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ сначала до ослабления бурой окраски, а затем, прибавив 1 мл 1 %-ного раствора крахмала, до исчезновения сине-голубой окраски. При содержании в воде более 6—7 мг/л Na_2SO_3 берут меньшие объемы и разбавляют дистиллятом:

$$\text{Na}_2\text{SO}_3 = 6,3(10 - a),$$

где a — расход 0,01 н. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ на титрование остатка I_2 .

Силикаты (SiO_3^{2-}). Используется метод определения в неокрашенной воде, в отсутствие фосфатов по желтому кремнемолибденовому комплексу $\text{H}_2[\text{Si}(\text{Mo}_2\text{O}_7)_6]$. В два цилиндра по 50 мл наливают по 50 мл исследуемой воды. В первый цилиндр добавляют 5 мл раствора молибдата аммония [30 г молибдата + 200 мл HCl (1:1) + 400 мл H_2O], перемешивают и выдерживают 15—20 мин (не более). В воду, налитую в другой цилиндр, добавляют из бюретки раствор K_2CrO_4 (5,3 г/л) до совпадения окрасок. Расход раствора K_2CrO_4 в мл, умноженный на 2, дает содержание силикатов в пересчете на SiO_2 в мг/л, а на 2,53 — в пересчете на SiO_3^{2-} .

Способ пригоден только для определения силикат-иона SiO_3^{2-} , так как коллоидная SiO_2 при этом не определяется. (Проверка правильности рекомендуемых кратких методик анализа проводится следующим образом: параллельно с испытуемой водой проводится анализ этой же воды, но разбавленной в 2—3 раза чистым дистиллятом. Полученные результаты должны быть в 2 или 3 раза меньше.)

Электрометрический метод. Электрометрический метод позволяет непрерывно или дискретно определять удельную электропроводимость воды и водных растворов без применения химических реактивов и иногда без применения внешних источников тока.

Электрометрический метод позволяет контролировать как ничтожные содержания ионизированных примесей в воде, паре и конденсате, так и высокие процентные содержания их в рабочих растворах реагентов, применяемых при обработке воды: от 0,05—0,1 мг/л до 200—300 г/л.

Электрометрический метод позволяет контролировать как ничтожные содержания ионизированных примесей в воде, паре и конденсате, так и высокие процентные содержания их в рабочих растворах реагентов, применяемых при обработке воды: от 0,05—0,1 мг/л до 200—300 г/л.

Для определения удельной электропроводимости водных растворов могут быть применены как специализированные приборы, так и неспециализированные электрометрические приборы: вольтметры, гальванометры, измерители заземления и мегаомметры. Из них наиболее удобными и дешевыми являются мегаомметры М1101 завода «Мегометр» (г. Умань) и его последующие модификации, не требующие внешнего источника тока. Мегаомметр М1101 имеет две шкалы: 0—1000 кОм и 1 мОм — ∞.

Электропроводимость растворов зависит от подвижности ионов, чисел переноса и степе-

Таблица 3.9, а. Удельная электропроводимость растворов некоторых электролитов при 18 °С, мкСм/см

Электролит	Концентрация, мг/л				
	0,1	1	10	100*	1000*
CO ₂	0,25	0,85	2,8	—	—
NaHCO ₃	—	1,0	10,0	100	1000
Na ₂ SO ₄	0,18	1,7	16	140	1400
MgSO ₄	0,2	1,8	18,0	170	1700
Na ₃ PO ₄					
NaCl					
Na ₂ CO ₃	—	2,0	19	180	1800
NH ₃	1,0	6,0	21	—	—
(NH ₄) ₂ CO ₃	—	3,0	30	300	—
NaOH	—	4,5	43	300	—
Ca(OH) ₂	0,5	5,0	48	450	—
H ₂ SO ₄	—	7,5	70	650	—
HCl	—	10	100	1000	—

* Значения экстраполированы

ни диссоциации различных солей, кислот, щелочей, а также от температуры и концентрации растворов (табл. 3.9).

Сопrotивление измеряется в омах (Ом), килоомах (КОм) и мегаомах (МОм). Электропроводимость — величину обратную сопротивлению — выражают в сименсах (См).

Удельное электрическое сопротивление $\rho = rS/l$, где S — площадь сечения проводника; l — длина проводника.

За единицу принято сопротивление проводника сечением 1 см² и длиной 1 см, откуда получается размерность ρ в омсантиметрах (Ом·см). Удельная электропроводимость $\kappa =$

Таблица 3.9, б. Поправочные коэффициенты на температуру к электропроводимости электролитов

Электролит	α , %/°С	Электролит	α , %/°С
NaCl	2,26	HCl	1,64
1/2CaCl ₂	2,29	1/2H ₂ SO ₄	1,65
1/2MgCl ₂	2,32	1/2H ₂ CO ₃	1,65
1/2Na ₂ CO ₃	2,61	NaOH	1,75
NH ₄ Cl	2,2	NH ₄ OH	1,98
1/2Na ₂ SO ₄	2,33	1/3Na ₃ PO ₄	2,56
1/2MgSO ₄	2,38	NaHCO ₃	2,24

Примечание. В среднем α составляет для кислот 1,65, оснований 1,8, солей 2,3 %/°С при концентрации 0—1000 мг/л.

$= 1/\rho$ измеряется в обратных омах ($\frac{1}{\text{Ом}}$) или сименсах (См), деленных на сантиметр, т. е. См/см.

Удельная электропроводимость для различных электролитов при различной их концентрации приведена на графиках рис. 3.13.

В табл. 3.9а указаны значения поправочных температурных коэффициентов α , которые учитывают повышение удельной электропроводимости растворов при увеличении температуры на 1 °С в диапазоне от 10 до 30 °С.

В табл. 3.10 приведена зависимость удельной электропроводимости (κ) раствора NaCl с концентрацией 1 мг/л от температуры t и расстояния между электродами датчика при постоянном r (по Мостофину) *.

В табл. 3.11 дана удельная электропроводимость 1 мг/л NaCl в растворах в зависимости от температуры и концентрации (влияние диссоциации ионов на электропроводимость).

При определении удельной электропроводимости температуру пробы желательно снизить до расчетной (комнатной — 20—25 °С), а если это сделать затруднительно, то нужно изменить расстояние между электродами пропорционально температуре (учитывать быстроту охлаждения) или автоматически из-

* Для датчика с подвижным электродом солемера на базе мегаомметра.

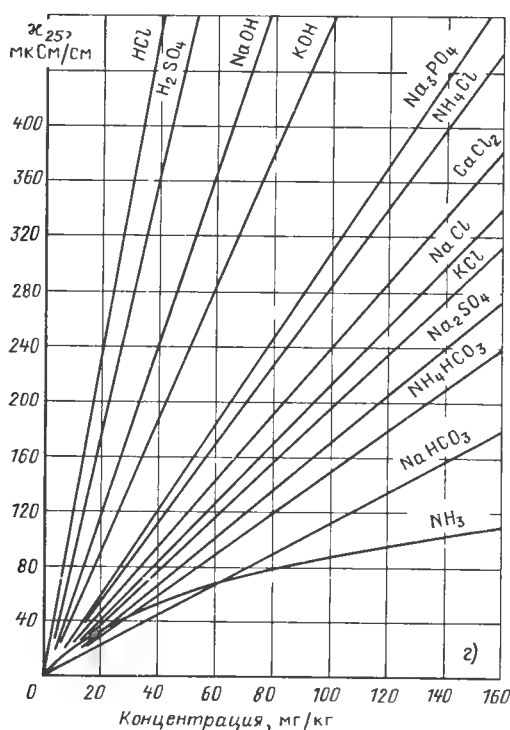
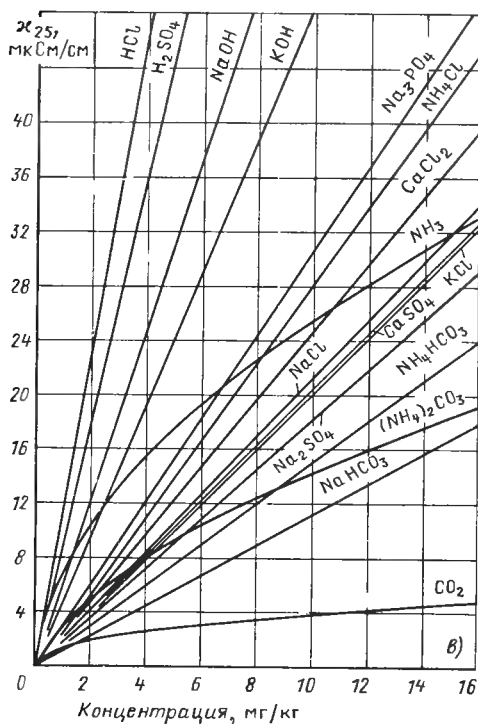
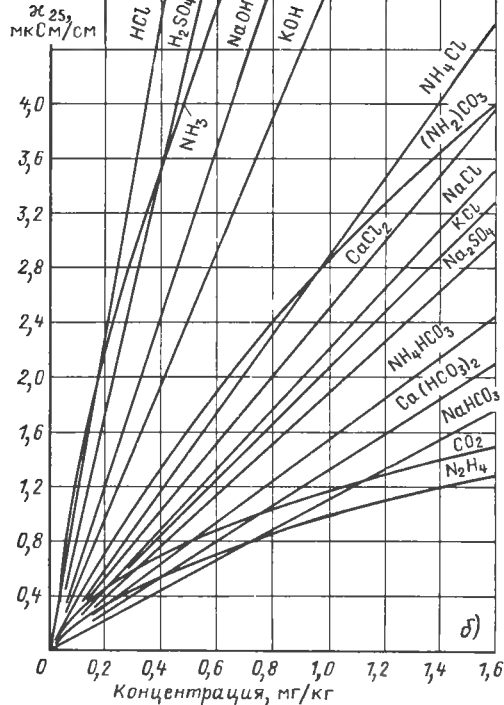
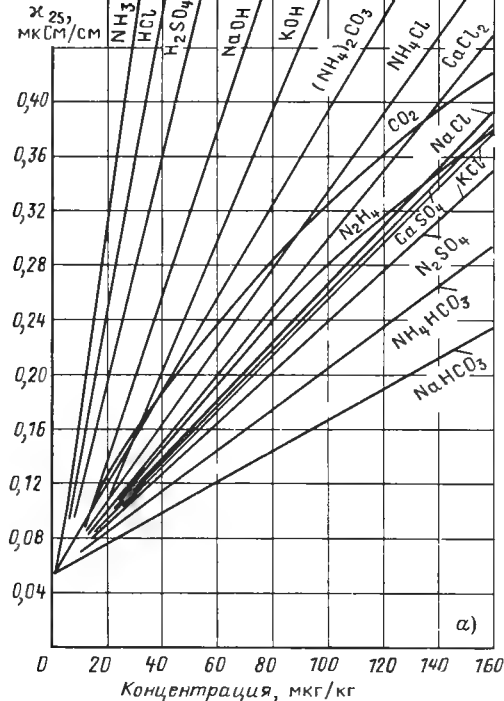


Рис. 3.13. Удельная электропроводность растворов электролитов при 25° С

а — $S = 0 \div 160$ мкг/кг; б — $S = 0 \div 1,6$ мг/кг;

в — $S = 0 \div 16$ мг/кг; з — $S = 0 \div 160$ мг/кг;

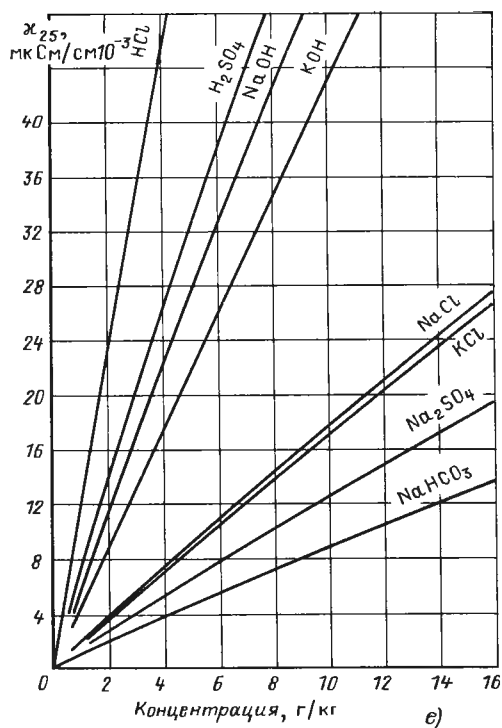
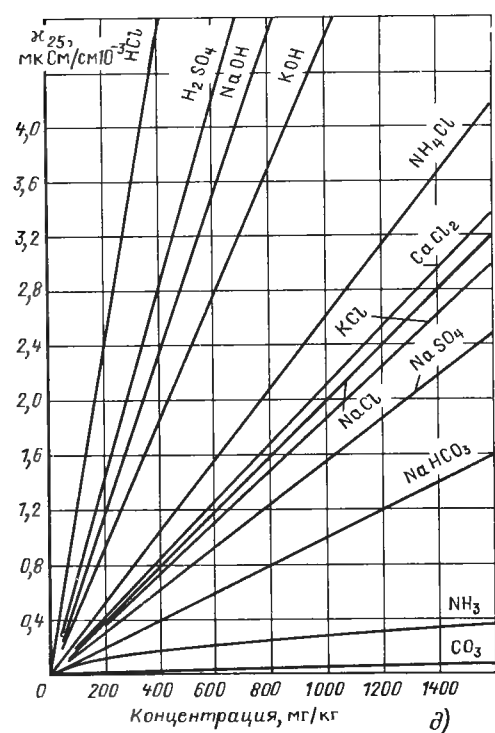


Рис. 3.13. Продолжение
 д — $S = 0 \div 1600$ мг/кг; е — $S = 0 \div 16$ г/кг

Таблица 3.10. Удельная электропроводность раствора NaCl χ и расстояние между электродами L

$t, ^\circ\text{C}$	χ , мкСм/см	L , %	$t, ^\circ\text{C}$	χ , мкСм/см	L , %	$t, ^\circ\text{C}$	χ , мкСм/см	L , %
0	1,2	56,2	35	2,67	124,0	70	4,53	210
10	1,5	70,0	40	2,94	136,0	75	4,80	224
15	1,68	80,7	45	3,2	148,0	80	5,05	236
18	1,854	87,5	50	3,47	161,5	85	5,31	248
20	1,937	92,5	55	3,74	174,5	90	5,59	260
25	2,14	100,0	60	4,0	186,0	95	5,83	272
30	2,41	112,0	65	4,27	198,5	100	6,10	285

Таблица 3.11. Удельная электропроводность 1 мг/л NaCl

Температура $t, ^\circ\text{C}$	Концентрация, мг/л								
	Бесконечное разбавление	6	30	60	120	300	1200	4000	12 000
0	—	—	—	1,125	1,117	1,10	1,055	1,01	0,95
18	1,854	1,842	1,83	1,818	1,80	1,77	1,703	—	1,5
25	2,14	—	2,13	2,125	2,10	2,065	1,98	1,86	1,74
50	3,46	—	3,37	3,34	3,30	3,25	3,07	2,86	2,66
100	6,10	—	6,05	6,01	5,85	5,75	5,55	5,18	4,92

менять сопротивления встроенных в схему прибора дополнительных проводников, изменяющих сопротивление схемы пропорционально температуре пробы.

Влияние растворенных газов CO_2 и NH_3 устраняется двумя способами:

1) кипячением и упариванием пробы в 3 – 4 раза в невыщелачивающейся посуде с введением поправки на упаривание. Остаточное газовое загрязнение проб конденсата пара соответствует 0,1 0,15 мг/л (в пересчете на NaCl) *;

2) Н-катионированием проб конденсата пара через отрегенированный раствором HCl и отмытый катионит КУ-1 или КУ-2-8 (хуже сульфуголь), с последующим кипячением или продуванием проб воздухом, не содержащим CO_2 (для удаления углекислоты из воздуха применяется трубка с натронной извостью).

Следует учитывать, что при наличии в пробах NaOH, Na_2CO_3 , NaHCO_3 , NH_4OH электропроводимость проб должна уменьшаться, так как в результате Н-катионирования в пробах образуются H_2O , практически не обладающая электропроводимостью и CO_2 , который удаляется при кипячении. При наличии в пробах NaCl и Na_2SO_4 при Н-катионировании образуются кислоты HCl, H_2SO_4 , обладающие в 3–5 раз большей электропроводимостью, чем их нейтральные соли.

Датчик к мегаомметру (рис. 3.14) представляет собой кусок стеклянной трубки $d_{\text{вн}} = 2, 4, 12$ мм (диаметр определяется электросопротивлением проб воды, которое должно находиться на средних оцифрованных участках шкал мегаомметра) (см. табл. 3.71–3.73 и рис. 3.14). Рабочая трубка датчика $l = 250 \div 280$ мм устанавливается между верхней 2 и нижней 3 головками при помощи резиновых пробок. В верхней головке имеются гнездо для установки термометра и отверстие для слива. Исследуемая вода подводится через воронку и стеклянную или резиновую трубку в нижнюю головку датчика. Из нижней головки организован выпуск воды из датчика.

Через нижнюю головку в рабочую трубку l вводится нижний неподвижный электрод 8, а через верхнюю головку подвижный электрод 9. На штатив возле рабочей трубки датчика наклеивается (или пишется несмываемой краской) температурная шкала для передвижения верхнего электрода 9 в зависимости от температуры.

* При одном кипячении без упаривания остаточное газовое загрязнение больше, оно составляет примерно 0,15 0,25 мг/л в пересчете на NaCl.

Измерение электропроводности пробы осуществляется следующим образом: в датчик через воронку заливаются испытуемая проба воды до стабилизации ее температуры в верхней головке по термометру 6. Затем немедленно по шкале устанавливается верхний электрод и прокручивается мегаомметр (5 – 6 оборотов) до устойчивого положения стрелки. Показания мегаомметра по шкале килоомов или мегаомов записываются и переводятся в мг/л по таблице. Продолжительность одного измерения 5 – 10 с. Затем датчик опорожняется через нижнюю головку или оставшаяся в нем проба воды вытесняется следующей пробой.

Через один и тот же датчик рекомендуются пропускать только однотипные пробы с близким содержанием, например пробы конденсата пара.

Датчики к мегаомметру тарируются: при малых содержаниях (0 5 мг/л) расчетным путем, так как приготовить точные эталонные растворы в указанном диапазоне концентраций очень трудно;

при больших содержаниях с помощью эталонных растворов, которые готовят из исходной воды, из химически очищенной и из котловой воды, в которых предварительно аналитически определены Cl^- , $\text{Ш}_{\text{с}}$, PO_4^{3-} , OK , а также сухой остаток весовым способом.

На рис. 3.15 изображен датчик для определения очень больших концентраций растворов реагентов, таких, как NaCl, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeSO_4 , HCl, H_2SO_4 , содержащих 10 000–100 000 мг/л. Его составной частью является резиновая трубка $d_{\text{вн}} = 5$ мм.

Характеристики датчиков приведены в табл. 3.12.

Расчетная градуировка датчика мегаомметра включает определение площади сечения трубки путем налива (насасывания) в нее воды, измерения высоты столба (h , см) и объема воды в трубке (V , мл): $f = v/h$. Затем определяется расстояние между электродами при заданной величине сопротивления датчика R (40, 20, 10 МОм) и данной электропроводности.

Расстояние между электродами L находят по формуле

$$L = SRf \kappa_{25} \cdot 0,01 = 1 \cdot 40 \cdot 0,125 \cdot 214 \cdot 0,01 = 107 \text{ мм.}$$

Затем строят переводную таблицу:

МОм	80	40	20	10	5
мг/л	0,5	1	2	4	8

Необходимо, чтобы измеряемые сопротивления ложились на оцифрованную часть шкалы мегаомметра.

Затем по таблице 3.13 строят шкалу для

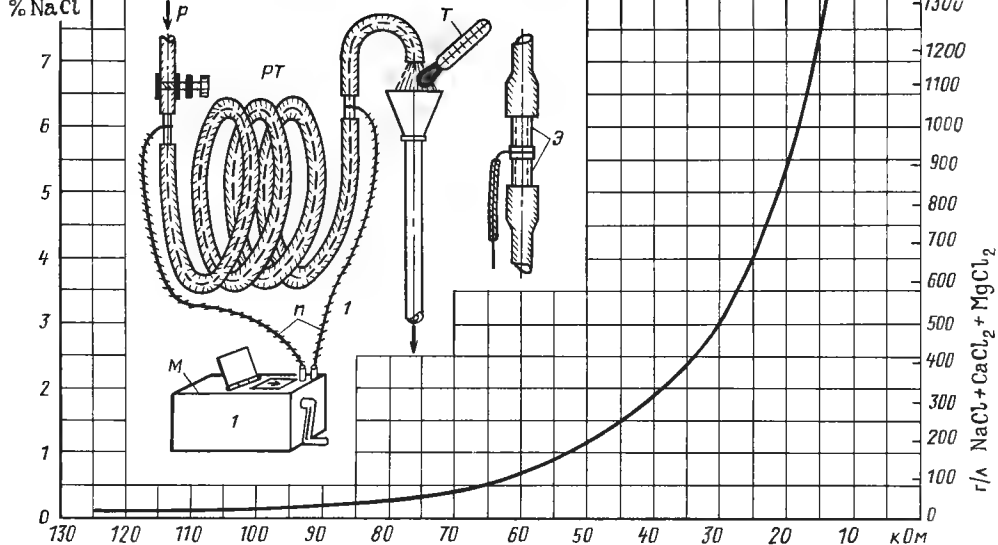


Рис. 3.15. Датчик из резиновой трубки ($l=1000 \div 2000$ мм; длина подбирается экспериментально в зависимости от $d_{\text{вн}}$ и S):

Э - электроды — трубки из нержавеющей стали $d_{\text{вн}}=5 \div 8$ мм; PT — резиновая трубка-датчик; П — изолированные провода; М — мегаомметр; Т — термометр; Р — раствор

Т а б л и ц а 3.12. Рекомендуемые характеристики датчиков

Параметр	Для пара, конденсата, обессоленной воды	Для сырой, химочищенной, питательной воды	Для котловой воды, концентрата испарителей	
			I тип	II тип
Пределы измеряемого соле-содержания в пересчете на NaCl, мг/л	0—20	0—500	0 5000	0—10 000
Рабочий диапазон измеряемого соле-содержания в пересчете на NaCl, мг/л	0—5	10—300	300—3000	3000—10 000
Внутренний диаметр $d_{\text{вн}}$ трубки, мм	4	12	4	2
Площадь поперечного сечения трубки f , см ²	0,125	1,125	0,125	0,0314
Общая длина трубки l , мм	250—280	250 280	250—280	200 250
Расчетное расстояние между элект-родами l_p при 25 °С, мм	100	100	100	100
Характеристика датчика $C_p=0,11/f$	80	88	80	318
Градуировка	Расчетная	По эталонным растворам		
Ориентировочные значения сопро-тивления датчика при соле-содержа-нии, мг/л:				
1	40 МгОм	—	—	—
20	—	900 кОм	—	—

Параметр	Для пара, конденсата, обессоленной воды	Для сырой, химочищенной, питательной воды	Для котловой воды, концентрата испарителей	
			I тип	II тип
300	—	60 кОм	140 кОм	550 кОм
3000	—	6 кОм	14 кОм	55 кОм
5000	—	—	9 кОм	36 кОм
10 000	—	—	4 кОм	18 кОм

Т а б л и ц а 3.13. Примерный пересчет измерений сопротивления проб воды мегаомметром в мкСм/см и мг/л NaCl для датчиков: $d_{вн}=4$ и 12 мм; $f=0,125$ см²; $L=100$ мм

Для пара: $\chi=0$: 60 мкСм/см; $s=0 \div 30$ мг/л NaCl Датчик 1: $d_{вн}=4$ мм; $f=0,125$ см ²			Для исходной, химочищенной и питательной воды: $\chi=50 \div 500$ мкСм/см; $s=30 \div 300$ мг/л Датчик 2: $d_{вн}=12$ мм; $f=1,125$ см ²			Для котловой воды и растворов реагентов: $\chi > 500$ мкСм/см; $s > 300$ мг/л Датчик 1: $d_{вн}=4$ мм; $f=0,125$ см ²		
МОм/см	мкСм/см	s, мг/л NaCl	кОм/см	мкСм/см	s, мг/л NaCl	кОм/см	мкСм/см	s, мг/л NaCl
200	0,4	0,22	250	35,5	19,4	200	400	220
160	0,5	0,275	200	44,5	24,5	180	445	247
120	0,67	0,367	150	59,3	32,5	160	540	278
100	0,8	0,44	120	74,0	40,5	140	572	320
80	1,0	0,55	100	89,0	48,8	120	670	340
60	1,33	0,73	80	111,0	61,0	100	810	455
40	2,0	1,1	60	148,0	81,0	90	880	490
30	2,67	1,47	50	178,0	97,0	80	1000	557
20	4,0	2,2	40	222,0	122,0	70	1140	635
15	5,33	2,93	30	297,0	163,0	60	1330	740
10	8,0	4,4	20	445,0	247	50	1600	890
8	10,0	5,5	15	597,0	326	40	2000	1110
6	13,3	7,3	10	890	487	30	2670	1490
5	16,0	8,8	8	1110	610	20	4000	2220
4	20,0	11,0	6	1480	810	15	5330	2970
3	26,7	14,7	5	1780	970	10	8000	4450
2	40	22,0	4	2220	1230	8	10 000	5570
1	80	44,0	3	2980	1630	6	13 300	7400
0,5	160	80,0	2	4445	2470	5	16 000	8900

возле рабочей трубки датчика. При измерении выдерживают расстояние между электродами, которое при 20 °С должно быть равно 10,7 см.

Градуировка по эталонным растворам: исходную воду (сырую, химочищенную или питательную) разбавляют дистиллятом в следующих соотношениях:

Исходная вода, %	100	90	80	70	60
Дистиллят, % . . .	—	10	20	30	40

Продолжение

Исходная вода, %	50	40	30	20	10
Дистиллят, % . . .	50	—	—	—	—

После перемешивания эталонных растворов склянки оставляют в покое на 2–3 ч для выравнивания температуры до комнатной. Затем устанавливают верхний электрод на деление шкалы, соответствующее температуре пробы (воздуха), и пропускают через датчик эталонные растворы, начиная с наиболее разбав-

ленных. Пропускают объемы растворов, в 5-6 раз большие объемов датчика, прокручивают мегаомметр, делая 5-6 оборотов, и записывают показания мегаомметра по шкале килоомов. Затем или спускают воду из датчика, или вытесняют ее следующим эталонным раствором и также измеряют его сопротивление. Составляют таблицу сопротивлений.

В исходной воде и в оставшихся объемах эталонных растворов определяют сухой остаток, щелочность, хлориды, окисляемость.

Обязательны определения только в неразбавленной пробе и в пробах, разбавленных на 30—50 и 80 % дистиллятом. Затем строится тарировочный график (рис. 3.16), на оси ординат которого наносят сопротивления проб в килоомах, а на оси абсцисс — процент разбавления исходной воды, а также сухой остаток (в мг/л), определенный в пробах весовым способом. После нанесения на график измеренных сопротивлений на шкале абсцисс (сверху) строят третью шкалу, где солесодержания соответствуют целым значениям сопротивлений (кОм) по этой третьей шкале, или непосредственно определяют солесодержание или составляют переводную таблицу.

Пробы котловой воды в целях повышения содержания в них растворенных ионизированных примесей упаривают в 1,5-2 раза (сырую, химочищенную и питательную воду упаривать нельзя, так как при упаривании происходит термическое разложение ионов HCO_3^- и CO_3^{2-} и вместо $\text{NaHCO}_3 - \text{Na}_2\text{CO}_3$ образуется NaOH , имеющий большую электропроводимость). Следует отбирать котловую воду солевых отсеков как более концентрированную и отбирать ее без охлаждения, чтобы она за счет самоиспарения стала более концентрированной без изменения состава солей. Кривая на графике должна быть плавной, изломы ее обычно вызваны ошибками, допущенными при разбавлении проб, при замере сопротивлений или температуры; этими изломами следует пренебречь и нанести плавную кривую.

Для определения больших концентраций (пробы котловой воды, регенерационных растворов, растворов реагентов) следует пользоваться датчиком из длинной резиновой трубки, свернутой в несколько колец (см. рис. 3.15) или разбавлять пробы дистиллятом в несколько (2, 5, 10) раз.

В настоящее время все чаще малые значения солесодержания выражают не в мг/л, а в единицах удельной электропроводимости: См/см и мкСм/см .

Тарировку датчиков в единицах удельной электропроводимости и перевод измеренных сопротивлений проб в мкСм/см ведут по

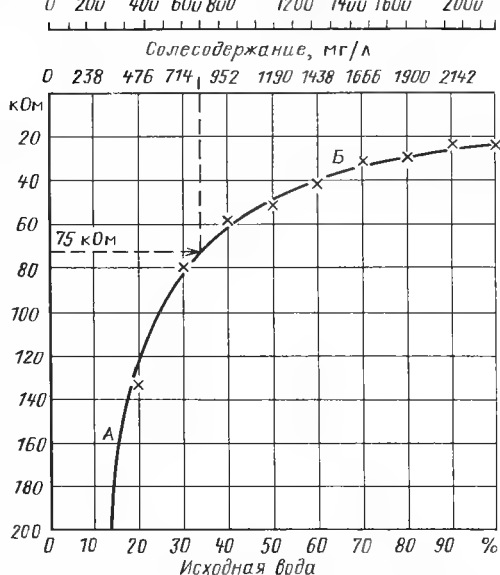


Рис. 3.16. График тарировки лабораторного датчика для питательной и котловой воды: отрезок АВ — рабочий интервал измерения от 40 до 160 кОм

формуле

$$L = R \cdot f,$$

где L — расстояние между электродами, см; R — принимаемое в качестве отправной точки сопротивление по мегаомметру 80 (60, 40), мгОм или кОм; f — площадь токопроводящего сечения датчика, см^2 .

По данным VGB удельная электропроводимость нейтрализованной по фенолфталеину котловой воды должна быть следующей:

Давление, МПа	Удельная электропроводимость, мкСм/см	В пересчете на мг/л NaCl
До 2,0	8000	4500
2,1—4,0	5000	2800
4—6,4	2500	1400
6,5—8,0	1500	830

Электропроводимость Н-катионированных и прокипяченных проб конденсата пара по зарубежным данным должна быть для барабанных котлов 0,3 мкСм/см , или около 0,085—0,12 мг/л NaCl. Для определения вспенивающей способности котловой воды можно определять удельную электропроводимость проб не нейтрализованной котловой воды, но тогда нельзя пересчитывать ее в мг/л NaCl.

Плотности жидких концентрированных реагентов и рабочих растворов определяют с помощью: 1) ареометров; 2) пикнометров.

1. В цилиндр наливают реагент или раствор реагента, доводят температуру до той, при которой градуировался ареометр, считывая результат по делениям ареометра, находящихся против поверхности жидкости в цилиндре (а не по мениску), и переводят в процентное содержание по массе, в г/л, мг-экв/л, по таблице.

2. Пикнометр или мерную колбочку емкостью 10—50 (при аналитических весах) или 100—500 мл (при технических весах) промывают, высушивают и взвешивают пустую — вес *A*. Затем заполняют колбу строго до метки дистиллятом и взвешивают при комнатной температуре — вес *B*. После этого выливают воду из колбы, высушивают ее при 100—110 °С, заполняют строго до метки исследуемым раствором и взвешивают при той же температуре — вес *B*.

Плотность (г/см³, г/мл) при температуре взвешивания находят по формуле

$$\rho = \frac{B \cdot A}{B - A}.$$

Перевод в массовые проценты осуществляется по таблицам.

Кислоты. 10 мл кислоты точно отмеривают пипеткой, пользуясь резиновой грушей. При отборе пипетку погружают в кислоту не более чем на 1 см и набранное вначале количество не используют. Вторично отобранные 10 мл кислоты вливают в мерную литровую колбу и дистиллированной водой доводят объем жидкости до метки.

Кислоту, смочившую наружные стенки пипетки, удаляют полоской фильтровальной бумаги. 10 мл разбавленной кислоты, что соответствует 0,1 мл исходной крепкой кислоты, титруют 0,1 н. NaOH по метилоранжу до перехода розового цвета в оранжево-желтый.

1 мл 0,1 н. NaOH соответствует 3,65 мг HCl, 4,9 мг H₂SO₄, 6,3 мг HNO₃ и 9,8 мг H₃PO₄.

Полученные результаты (мг/пробу) дают объемное содержание кислот в мг/0,1 мл, а умноженные на 10 — в г/л.

Щелочные реагенты: NH₃, NaOH, Na₂CO₃, NaHCO₃. 10 мл раствора реагента разбавляют до 1 л прокипяченным дистиллятом в мерной колбе. Пипеткой пользуются так же как и при отборе кислоты. 10 мл (или 100 мл при слабых исходных растворах) титруют 0,1 н. HCl в конической колбе сначала

по фенолфталеину — расход Φ , а затем, прибавив 5—6 капель метилоранжа, титруют 0,1 н. до перехода желтой окраски в оранжево-желтую или розоватую — расход кислоты *M*.

Расчет содержания реагента в пробе, взятой для титрования, мг, ведут по формулам: при $\Phi < M$

$$\begin{aligned} \text{NaHCO}_3 &= (M - \Phi) 8,4; \\ \text{Na}_2\text{CO}_3 &= 2\Phi \cdot 5,3; \end{aligned}$$

при $\Phi = M$

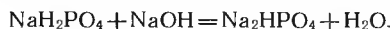
$$\begin{aligned} \text{Na}_2\text{CO}_3 &= 2\Phi \cdot 5,3; \\ \text{Na}_2\text{CO}_3 &= 2M \cdot 5,3 = (\Phi + M) 5,3; \end{aligned}$$

при $\Phi > M$

$$\begin{aligned} \text{Na}_2\text{CO}_3 &= 2M \cdot 5,3; \\ \text{NaOH} &= (\Phi - M) 4. \end{aligned}$$

Для пересчета результатов в мг-экв/л количества NaOH, Na₂CO₃, NaHCO₃ в мг содержащее в пробе делят на 8,4 для NaHCO₃, на 5,3 для Na₂CO₃ и на 4 для NaOH, если для титрования было взято 10 мл, разбавленного раствора или соответственно на 0,84; 0,53; 0,4, если для титрования было взято 100 мл. 1 мл 0,1 н. кислоты соответствует 1,7 мг NH₃. Умножив расход кислоты в мл на титрование 10 мл разбавленного раствора NH₃ на 170 (или на 17 при титровании 100 мл), находят содержание NH₃ в исходном растворе в мг/л.

Три натрий фосфат Na₃PO₄. 50 л раствора разбавляют дистиллятом в мерной колбе емкостью 1 л. Отбирают 50 мл, прибавляют 5—6 капель метилоранжа, 2—3 г сухого NaCl и подкисляют 0,1—1,0 н. HCl до кислой реакции по метилоранжу (розовая окраска), кипятят 2—3 мин, охлаждают и точно нейтрализуют избыток кислоты 0,1 н. раствором NaOH до перехода розовой окраски в оранжевую. Затем, прибавив 5—6 капель фенолфталеина, титруют 0,1 н. раствором NaOH до перехода окраски в розовую (от фенолфталеина) — расход 1 мл 0,1 н. NaOH, содержащий 4 мг NaOH, соответствует 16,4 мг Na₃PO₄. Титрование происходит по уравнению



Концентрацию Na₃PO₄ в исследуемом растворе, мг/л, находят по формуле (при данном разбавлении)

$$\text{Na}_3\text{PO}_4 = (A \cdot 16,4) / (v \cdot 10) = A \cdot 1,64 / v,$$

где *A* — расход 0,1 н. NaOH на титрование 50 мл разбавленного в 20 раз исходного раствора Na₃PO₄, мл; *v* — объем неразбавленного раствора — в данном случае 2,5 мл.

Известь [CaO, Ca(OH)₂], известковый

раствор. 10 мл известкового молока отмеривают специальным мерничком, который сделан из пробирки*, и переносят его содержимое в мерную колбу на 1 л. Заполняя мерник до краев исследуемым интенсивно перемешиваемым известковым молоком, досуха вытирают мерник снаружи. Вылив в мерную колбу содержимое мерника (10 мл), обмывают его изнутри из промывалки прокипяченным дистиллятом, сливая ополоски в колбу, после чего доводят объем в колбе до метки, перемешивают и оставляют на 3—4 ч. После отстаивания пипеткой отбирают из колбы 10 мл прозрачного известкового раствора и сливают в колбу емкостью 100 мл. Прибавив 5—6 капель фенолфталеина, титруют 0,1 н. раствором HCl до обесцвечивания.

1 мл 0,1 н. HCl соответствует 2,8 мг CaO. Концентрацию CaO или Ca(OH)_2 в мг-экв/л в исходном молоке находят, умножая расход 0,1 н. HCl в мл на 100.

Если на ВПУ есть сатуратор, то пробы прозрачного известкового раствора берут из сатуратора; 10 мл пипеткой отмеривают в колбу, прибавляют 5—6 капель фенолфталеина и титруют 0,1 н. HCl до обесцвечивания. Расход 0,1 н. раствора HCl в мл, умноженный на 10, дает крепость раствора в мг-экв/л.

Соль поваренная (хлористый натрий) NaCl. 10 мл 5—10 %-ного раствора NaCl разбавляют в 10 раз в мерной колбе емкостью 100 мл. После перемешивания и отстаивания отбирают 10 мл в коническую колбу, приливают 150 мл дистиллята, 1 мл 10 %-ного раствора нитропруссиды и титруют раствором $\text{Hg(NO}_3)_2$ в 1 мл 1 мг Cl до слабого помутнения.

Процентное содержание NaCl в растворе находят по формуле

$$\text{NaCl} = A \cdot 58,5 / 35,5 = 0,165A,$$

или в мг-экв/л

$$\text{NaCl} = A \cdot 1000 / 35,5 = A \cdot 28,1.$$

Этим способом определяются кроме NaCl еще и примеси $\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2$.

Истинное содержание NaCl находят как разность между общим содержанием хлоридов, выраженным в мг-экв/л, и общей жесткостью раствора NaCl, ее определяют трилонометрически, при необходимости осуществляя разбавление пробы, чтобы ее жесткость не превышала 5 мг-экв/л.

Алюминий серно-кислый $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$. 10 мл раствора с концентрацией 5—10 % безводного $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ раз-

бавляют пипеткой в мерной колбе емкостью 1 л и из перемешанного и осветлившегося раствора отбирают пипеткой 10 мл в коническую колбу. Прибавив 5—6 капель фенолфталеина, титруют 0,1 н. NaOH до появления устойчивой розовой окраски — расход A 1 мл 0,1 н. NaOH соответствует 10 мг-экв/л кислотности при 10 мл, взятых для анализа.

Концентрация $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, г/л, в пересчете на общую кислотность в мг-экв/л находят по формуле

$$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 = A \cdot 57 / 1000.$$

Следует учитывать, что определение концентрации $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ по кислотности раствора пригодно только для реагента, не содержащего свободной серной кислоты. Для технического глинозема (коагулянта), содержащего 2—3 % свободной серной кислоты, этот способ завышает концентрацию Al^{3+} и занижает коагулирующие свойства раствора. Однако в эксплуатации для практических технологических расчетов этот простой метод пригоден.

Серно-кислороднокислотное железозо — железный купорос $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. 5 мл рабочего раствора FeSO_4 разбавляют 95 мл прокипяченного дистиллята, добавляют 10 мл H_2SO_4 (1:3) и титруют 0,1 н. раствора KMnO_4 до появления розовой окраски буровато-желтой жидкости.

1 мл 0,1 н. KMnO_4 соответствует 15,2 мг FeSO_4 .

Расход 0,1 н. KMnO_4 , г/л, пересчитывают по формуле

$$\text{Fe} = \text{KMnO}_4 \cdot 15,2 / 5 \approx \text{KMnO}_4 \cdot 3.$$

Кислотность раствора FeSO_4 , которую необходимо знать для технологических расчетов в эксплуатации, определяют титрованием рабочего раствора 0,1 н. раствором NaOH по фенолфталеину. 5 мл рабочего раствора разбавляют 95 мл дистиллята и, прибавив 0,2 мл фенолфталеина, титруют 0,1 н. NaOH до появления розовой окраски прозрачной жидкости над осевшим осадком Fe(OH)_3 — (Fe(OH)_2) . Для улучшения реакции — ускорения окисления Fe^{2+} в Fe^{3+} и осаждения Fe(OH)_3 — содержимое колбы энергично перемешивают.

1 мл 0,1 н. NaOH соответствует 20 мг-экв/л кислотности при 5 мл, взятых для анализа.

Хлорная известь Ca(OCl)_2 . В растворе этого реагента определяют активный хлор. 10 мл раствора разбавляют в 50 раз дистиллятом в мерной колбе емкостью 500 мл и после перемешивания отбирают 50 мл разбавленного раствора в коническую колбу, прибавляют 2 г сухого KJ и сразу же титруют 0,1 н. раствором тиосульфата натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

* Пробирку обрезают по метке, которую наносят по мениску воды (10 мл).

до светложелтой окраски, а затем после прибавления раствора крахмала продолжают титровать до обесцвечивания — расход B . 1 мл 0,1 н. раствора тиосульфата эквивалентен 3,55 мг активного хлора, т. е. $Cl_2 = B \cdot 3,55$ (г/л).

Сульфит натрия $Na_2SO_3 \cdot 7H_2O$. В колбу вводят 10 мл 0,1 н. раствора йода, 50 мл дистиллята и из бюретки исследуемый раствор Na_2SO_3 , пока жидкость в колбе не примет слабо желтой окраски, записывают число мл Na_2SO_3 , прилитых в колбу — расход B . Затем приливают крахмал и титруют 0,1 н. раствором $Na_2S_2O_3$ до обесцвечивания расход B . Оттитрованный раствор выливают.

В другой колбе 10 мл 0,1 н. раствора йода с добавлением 50 мл дистиллята титруют 0,1 н. раствором $Na_2S_2O_3$ сначала до светложелтой окраски, а затем после прибавления крахмала — до обесцвечивания расход A .

Содержание Na_2SO_3 в рабочем растворе, г/л, находят по формуле

$$Na_2SO_3 = \frac{(A - B) \cdot 6,3}{B}.$$

Силикат-глыба, жидкое растворимое стекло $Na_2O \cdot m \cdot SiO_2$. Определение ведут по плотности, измеренной ареометром или пикнометром с пересчетом по таблице. Однако для технологических расчетов и в эксплуатации важно знать содержание и Na_2O (NaOH) и SiO_2 , которое приводится ниже:

	Силикат-глыба (ГОСТ 13079—67)	Растворимое стекло при $\rho = 1,4 \div 1,45$ г/см ³ (ГОСТ 13078—67)
Модуль m . . .	3—3,5	2,8—3,2
Содержание, %:		
Na_2O	23	10—12
SiO_2	71 77	28 33

Содержание Na_2O —(NaOH) определяют и в глыбе, и в жидком стекле титрованием разбавленных растворов 0,1 н. раствором HCl; SiO_2 определяют весовым способом, выполняя последовательно обработку раствора крепкой HCl, выпаривание на водяной бане, повторную обработку HCl, обработку водой, фильтрование, промывку осадка на фильтре, высушивание, сжигание фильтра с осадком, прокаливание остатка, взвешивание SiO_2 с пересчетом на навеску силиката.

Определение Na_2O . 10 мл товарного жидкого стекла плотностью более 1,3, содержащего в 10 мл более 5000 мг $Na_2O \cdot m \cdot SiO_2$ или более 1500 мг Na_2O и 3500 мг SiO_2 , разбавляют

дистиллятом в мерной колбе емкостью 1 л. Пипетку, которой отбирают пробу, снаружи вытирают фильтровальной бумагой, а изнутри 5–6 раз споласкивают дистиллятом, сливая его в мерную колбу. Доведя объем раствора в колбе до метки, его перемешивают.

10 мл разбавленного раствора жидкого стекла отбирают пипеткой в колбу, прибавляют 90 мл дистиллята, 5–6 капель фенолфталеина и титруют 0,1 н. раствором HCl до обесцвечивания — расход A . Затем, прибавив 5–6 капель метилоранжа, дотитровывают до перехода желтой окраски в оранжевую — расход B .

1 мл 0,1 н. HCl соответствует 3,1 мг Na_2O или 4 мг NaOH.

Содержание Na_2O в жидком стекле находят по формуле, мг/мл или г/л,

$$Na_2O = 31 (A - B) \text{ товарного продукта.}$$

Оно обычно равно 100–200 мг/мл.

Содержание Na_2CO_3 находят по формуле $[Na_2CO_3] = 53,0 \cdot 2B$ г/л.

Объемно-колориметрическое определение SiO_2 по желтому кремнемолибденовому комплексу. 25 мл разбавленного раствора жидкого стекла пипеткой переносят в каждый из двух цилиндров объемом 50 мл, доливают по 25 мл дистиллята и перемешивают. В один цилиндр вливают 5 мл раствора молибдата аммония, перемешивают и дают стоять не более 15–20 мин. В другой цилиндр приливают раствор K_2CrO_4 с концентрацией 5,3 г/л до совпадения окрасок.

Расход раствора K_2CrO_4 в мл, умноженный на 40, дает концентрацию SiO_2 в разбавленном растворе жидкого стекла в мг/л, а умноженный на 4 — содержание SiO_2 в неразбавленном товарном продукте.

Определение силикатного модуля m . Определение модуля m производят по формуле

$$m = SiO_2 \cdot 1,0323 / Na_2O,$$

где m — модуль; SiO_2 и Na_2O — содержание кремнекислоты и оксида натрия (в %, г/л или мг/л) в товарном продукте; 1,0323 — отношение молекулярных весов Na_2O (62) к SiO_2 (60).

3.9. Анализ товарных жидких и сухих технических реагентов

Жидкие реагенты. Концентрацию действующего вещества в товарных жидких реагентах HCl, H_2SO_4 , NH_3 , NaOH и $Na_2O \cdot m \cdot SiO_2$ определяют по плотности с последующим пересчетом по таблицам в проценты, г/л или г-экв/л. В случае необходимости жидкие реагенты разбавляют в 100

1000 раз. Дистилляты и определяют концентрацию по тем же методикам, что и при анализе рабочих растворов реагентов. Пересчет на товарный продукт делают с учетом разбавления.

Сухие, твердые или порошкообразные реагенты: NaOH , Na_2CO_3 , NaHCO_3 , NaCl , Na_3PO_4 , Na_2SO_3 , FeSO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, NaNO_3 . Из тары (вагона, склада, штабеля) отбирают среднюю пробу реагента, перемешивают, сокращают и в плотно закрытой посуде направляют в лабораторию. В лаборатории доставленную пробу дополнительно перемешивают, измельчают и хранят до окончания анализа в плотно закрытых склянках объемом 100—200 см³ во избежание высыхания или поглощения влаги и других газов из воздуха (CO_2 , NH_3 , SO_2 , H_2S).

В пробах Na_2CO_3 , NaCl , Na_3PO_4 определяют влажность высушиванием навески в тигле или в бюксе при 105—110 °С до постоянного веса.

Влажность железного купороса, бикарбоната и сульфита натрия не определяют, так как они при нагреве и доступе кислорода (O_2) окисляются ($\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ и $\text{Na}_2\text{SO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4$) или разлагаются ($2\text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$).

Нерастворимый остаток определяют в NaCl (первый и второй сорта, калийные отходы) и в неочищенном $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Свободную серную кислоту определяют в железном купоросе и неочищенном $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

В 5—10 %-ном растворе NaCl , приготовленном из сухой соли, определяют хлориды Cl^- и жесткость титрованием 0,1 н. раствором трилона Б после дополнительного разбавления в 10—1000 раз.

Метод определения такой же, как и для рабочего раствора NaCl .

В 5—10 %-ных растворах NaHCO_3 , Na_2CO_3 , Na_3PO_4 определяют щелочность по фенолфталеину и метилоранжу с последующим пересчетом, как указано для рабочих растворов. Действующее вещество определяют в сульфите натрия SO_3^{2-} и в хлорной извести Cl_2 титрованием йодом и тиосульфатом натрия, в железном купоросе Fe^{2+} титрованием KMnO_4 , как это указано для рабочих растворов этих реагентов.

В NaNO_3 определяют только влажность, если это необходимо.

Арбитражные анализы товарных реагентов в случае споров об их качестве выполняются строго по соответствующим ГОСТам и, если нужно, в посторонней лаборатории.

Описанные выше методики контроля качества реагентов в некоторых случаях менее точны, чем методики ГОСТ, но достаточны для текущего контроля.

3.10. Отбор проб и упрощенный анализ отложений, образовавшихся на внутренних поверхностях теплоэнергетического оборудования

Отбор проб водонерастворимых отложений. Каждая проба водонерастворимых отложений — накипи и шлама — должна быть отобрана из частей котла, находящихся в одинаковых условиях работы с точки зрения циркуляции воды и теплонапряженности поверхности нагрева, например:

- из экранных труб и элементов паровых и водогрейных котлов без ступенчатого испарения или чистых отсеков, работающих с радиационным обогревом;

- из экранных труб солевых отсеков, работающих с радиационным обогревом;

- из труб 1—3-го рядов первого конвективного пучка или фестонов, работающих с радиационным обогревом;

- из первого и последнего рядов второго конвективного пучка, работающего с конвективным обогревом;

- отложения с питательных устройств, стенок верхнего барабана и из устьев опускных труб;

- накипь и шлам из нижних коллекторов экранов;

- из трубок конденсаторов паровых турбин, бойлеров и др.;

- из прямой и обратной линий систем теплоснабжения.

Отложения накипи отбираются с обогреваемой стороны труб наиболее теплонапряженных участков поверхности нагрева возможно ближе к ядру факела.

Для каждой из отобранных проб должны быть собраны, записаны и приложены к образцам следующие данные:

- наименование котла, участка поверхности и место отбора пробы, дата;

- общее состояние поверхности нагрева в местах отбора проб: толщина, цвет, плотность, слоистость и сцепляемость отложений с металлом, наличие коррозионных язв и скопленений продуктов коррозии;

- дата монтажа и пуска котла, время последнего капитального ремонта;

- время последней чистки котла и способ ее проведения: ручная, механическая, химическая (кислотная, щелочная), условия кислотной промывки (вид кислоты, концентрация, ингибиторы, температура, условия циркуляции моющего раствора, продолжительность, расход реагентов, пассивация поверхности), эффективность проведенных промывок — процент удаления отложений;

режим работы котла после последнего капремонта и очистки;

качество питательной и котловой воды, температура, давление в котле, виды внутрикотловой коррекционной обработки воды.

Пробы отложений при отправке в химическую лабораторию должны быть упакованы в плотные стеклянные или металлические банки с наклеенными этикетками или в запаянные полиэтиленовые пакеты с приложением перечисленных выше сведений.

Отбор проб водорастворимых отложений. При наличии водорастворимых отложений в пароперегревателях, паропроводах перегретого пара и проточной части турбин, а также натеков солей с наружной стороны поверхности нагрева; пробы таких отложений отбирают из мест, находящихся в одинаковых условиях по температуре, теплонапряжению поверхности, скорости и турбулентности движения потока, качеству котловой воды и пара.

При отборе проб водорастворимых отложений необходимы те же сведения, что и при отборе водонерастворимых отложений; эти сведения должны прилагаться к образцу.

Пробы отложений отбираются со стенок труб, барабанов и других элементов котлов и трубопроводов как на месте, так и с вырезанных из котлов и трубопроводов контрольных участков труб длиной 200—800 мм.

Вырезку контрольных участков рекомендуется производить из наиболее теплонапряженных труб, если это возможно по конструктивным условиям.

Отложения с контрольных участков отбираются отдельно с обогреваемой и неогреваемой внутренних поверхностей труб. При прочном сцеплении с металлом отложения приходится удалять, сгибая отрезки труб в слесарных тисках, предварительно очистив их от наружных загрязнений и завернув в бумагу.

Катодное удаление отложений с контрольных участков позволяет определить только общее количество отложений, но не их свойства и состав.

Упрощенный качественный анализ отложений. Белый цвет свидетельствует об отсутствии в отложениях оксидов железа и меди. Серый, бурый и черный цвета указывают на наличие в отложениях Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , CuO . Черные блестящие отложения с металлическим блеском, прочно сцепленные с металлом, свидетельствуют о протекании пароводяной коррозии и о том, что отложения состоят почти из одного магнетита (Fe_3O_4). Красные блестящие свидетельствуют о присутствии металлической меди.

Визуально определяют толщину, плот-

ность, слонность отложений и сцепляемость их с металлом.

Полная растворимость отложений в воде свидетельствует об отсутствии в них Ca , Mg , Fe , SiO_2 , Cu , Al , Zn .

Выделение пузырьков газа CO_2 при обработке отложений HCl (1:1) свидетельствует о наличии в них CaCO_3 . Иногда в отложениях могут присутствовать сульфиды S^{2-} и сульфиты SO_3^{2-} , обуславливающие специфический запах.

Желтый цвет соляно-кислого раствора свидетельствует о наличии в отложениях оксидов железа, преимущественно Fe_2O_3 .

Сине-голубой цвет соляно-кислого раствора отложений после обработки его избытком NH_3 (запах) свидетельствует о наличии в отложениях меди.

Белый цвет нерастворимого остатка после обработки отложений HCl (лучше при кипячении и сливе раствора с осадка) свидетельствует о наличии в отложениях силикатов CaSiO_3 , MgSiO_3 , SiO_2 .

Черный цвет нерастворимого остатка свидетельствует о присутствии в нем Fe_3O_4 .

Подготовка к анализу. Каждую пробу водорастворимых отложений сначала подсушивают на воздухе, затем растирают в ступке и хранят в бюксе (банке) без доступа воздуха. Отбирая навеску (~ 1 г) в прокаленный и взвешенный фарфоровый тигель, определяют сначала влажность при $105\text{--}110^\circ\text{C}$, а затем потерю при прокаливании (потеря при прокаливании свидетельствует о наличии в отложениях органических примесей, карбонатов и кристаллизационной воды). Привес при прокаливании указывает на наличие в отложениях Fe_3O_4 и металлической меди Cu и переход их при прокаливании в Fe_2O_3 и CuO .

Химический анализ проводится в следующем порядке:

точную навеску (~ 1 г) отложений обрабатывают в фарфоровой чашке водой на водяной бане в течение 30—60 мин. Затем воду сливают через беззольный фильтр в мерную колбу емкостью 100 мл. Осадок в чашке 2—3 раза промывают дистиллятом, сливая жидкость в ту же колбу через фильтр; объем в колбе доводят до метки. Осадок в чашке высушивают, взвешивают и подвергают дальнейшему анализу, а жидкость из колбы качественно исследуют на кислотность, щелочность по фф и мо и присутствие OH^- , CO_3^{2-} , Cl^- и SO_4^{2-} . При значительном содержании этих примесей в жидкости ее исследуют как котловую воду, т. е. количественно определяют содержание OH^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} .

Водонерастворимые отложения или нерастворимый остаток в чашке обрабатывают

10—15 мл HCl (1:1) на водной бане, выпаривая содержимое досуха. Обработку HCl повторяют 2—3 раза. После окончательного высушивания содержимое чашки обрабатывают 15—20 мин горячей водой с двумя-тремя миллилитрами HCl (1:1), сливают жидкость в колбу емкостью 100—250 мл через беззольный фильтр. Осадок из чашки количественно переносят на фильтр и 3—5 раз промывают горячей водой, обмывая чашку. Фильтр с осадком переносят в прокаленный фарфоровый тигель, высушивают, сжигают и прокалывают.

После остывания тигля в эксикаторе осадок взвешивают и определяют процентное содержание нерастворимого остатка во взятой навеске. Если нерастворимый остаток имеет белый цвет, то можно считать, что он состоит из SiO_2 с примесью CaSiO_3 и MgSiO_3 , и дальнейшее исследование его прекращается. Темный цвет нерастворимого остатка свидетельствует о присутствии в нем оксидов железа (реже — меди). Если количество нерастворимого остатка не превышает 10 %, то даже при темном цвете остаток не исследуют.

Желтый цвет полученного раствора свидетельствует о присутствии Fe^{3+} , а зеленый или голубой — о присутствии Cu^{2+} .

Полученный раствор в колбе доводят до метки промывными водами и дистиллятом. Затем в полученном растворе определяют Fe, комплексонометрическим способом с роданидами или сульфосалицилатами, как в воде.

Медь определяют колориметрическим способом по медно-аммиачному комплексу. Кальций и магний Ca^{2+} и Mg^{2+} определяют комплексонометрически с хромтемно-синим (ХТС) или с ХТС и мурексидом.

Сульфаты SO_4^{2-} определяют осаждением BaCl_2 , фосфаты — колориметрически по синему фосфорно-молибденовому комплексу. При помощи этих упрощенных методов можно определить CaO , MgO , Fe_2O_3 , CO_2 , P_2O_5 , CuO , SiO_2 , CaSiO_3 , MgSiO_3 .

При аварийных обстоятельствах анализы проводят по методикам, утвержденным Минэнерго.

3.11. Упрощенные методы исследования свойств зернистых фильтрующих материалов

Гранулометрический состав 200—1000 г воздушно-сухого материала пропускают через набор сит с отверстиями 5—3—2—1,5—1,0—0,8—0,6—0,5—0,4—0,3—0,2 мм или только через часть сит (2—1—0,5—0,3 мм). Взвешивают материал, оставшийся на каждом сите и прошедший через него, затем пересчитывают в проценты. Строят гра-

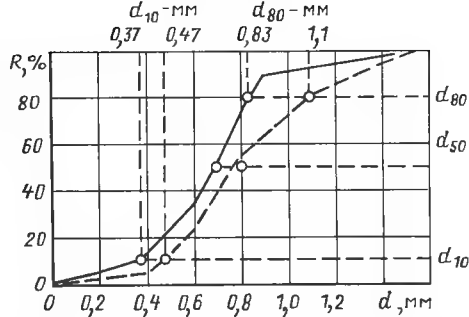


Рис. 3.17. График рассева зернистых фильтрующих материалов для определения гранулометрических характеристик (для двух образцов):

R — количество материала, прошедшего через сито, %; d — размер зерен, мм; d_{80}/d_{10} — коэффициент неоднородности; d_{50} — средний диаметр

фик (рис. 3.17), откладывая по оси ординат диаметр отверстий сит, а по оси абсцисс — количество материала, %, прошедшего через данное сито.

По графику находят эффективный диаметр зерен материала — $d_{50} \approx d_{50}$, т. е. размер отверстий сита, через которые могли бы пройти 50 % общей массы зерен ионита. Затем таким же образом находят размеры сит, через которые могли бы пройти 10 и 80 % зерен. Отношение $d_{80}:d_{10}$ называется коэффициентом неоднородности материала. Чем меньше $d_{80}:d_{10}$, тем лучше гранулометрический состав материала.

Иониты пропускают через сита с отверстиями, соответствующими ГОСТ или ТУ. Обычно инертные фильтрующие материалы — кварцевый песок, мраморная крошка, антрацит, керамзит — должны иметь диаметр зерен 0,5; 1,5—2 мм, а иониты в зависимости от сорта — мелкие 0,3—0,7 мм, крупные 0,3—1,1 мм.

Активированный уголь имеет размер зерен 1—3,5 мм.

Насыпная масса, плотность, пористость, набухаемость. Воздушно-сухой материал ($D_c = 100$ г) насыпают в мерный цилиндр на 200—250 мл и определяют объем его (V_1) в мл, затем дном цилиндра постукивают по горизонтальной поверхности (из дерева, картона и др.), наблюдая за усадкой материала. После того как объем перестал сокращаться, его замеряют (V_2). Затем осторожно по стенке цилиндра из бюретки наливают в цилиндр воду до поверхности материала (V_3) и замеряют слитый ее объем. Наконец, наливают в цилиндр 10—12 %-ный раствор NaCl на 100 % выше поверхности

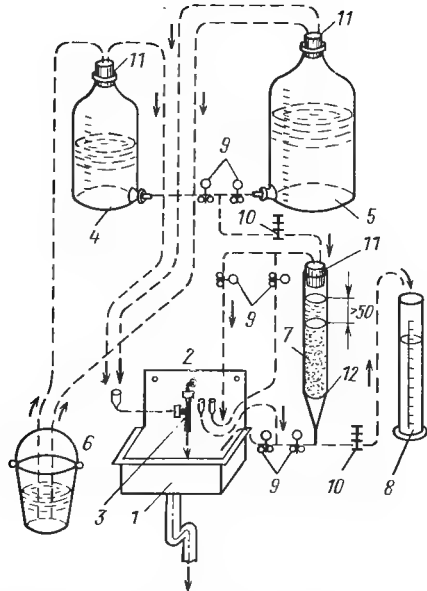


Рис. 3.18. Установка для определения емкости поглощения ионитов (ДОЕ ПДОЕ): 1 — раковина; 2 — водопроводный кран; 3 — водоструйный вакуум-насос; 4 — бутылка для раствора NaCl; 5 — бутылка для жесткой воды; 6 — сосуд для приготовления растворов; 7 — ионитный лабораторный фильтр; 8 — мерный цилиндр емкостью 1 л; 9 — пружинные зажимы (Мора); 10 — винтовые зажимы (Гофмана); 11 — резиновые пробки; 12 — пористая или дырчатая пластинка

материала. Перемешивают материал с раствором и оставляют в покое. Через 24 ч измеряют объем набухшего материала (V_4). Набухаемость определяют только для ионитов. Насыпной вес сухого D_c/V_1 и D_c/V_2 , набухшего D_1/V_4 . Пористость, %, воздушно-сухого $V_3 \cdot 100/V_1$; плотность, г/см³, воздушно-сухого $D_c/(V_1 - V_3)$; набухаемость нонита, %, $(V_4 - V_1) \cdot 100/V_1$.

Посторонние примеси. Берут навеску 10 г средней пробы материала, оставшегося на сите 0,3 мм, и пинцетом выбирают посторонние зерна, их взвешивают и пересчитывают в %.

Механическая прочность. 100 г рассеянного на ситах и оставшегося на сите 0,5 мм материала заливают двойным объемом воды и помещают в банку встряхивающей машины на 24 ч. Затем выливают содержимое в фарфоровую чашку $V=0,5 \div 1$ л, осторожно сливают оставшуюся воду и материал высушивают при $100-110^\circ\text{C}$.

Высушенный материал просеивают через сито 0,5 и 0,25 мм и взвешивают остаток на ситах и прошедший через сито 0,25, пересчитывают в процентах.

Количество материала, оставшегося на сите (0,5 0,25 мм), называется измельчаемостью материала; оно не должно превышать 4-5 %; количество материала, прошедшего через сито 0,25 мм, называется истираемостью, которая не должна превышать 0,5-1 %.

Химическая прочность. В конические колбы объемом по 600—800 мл наливают по 500 мл растворов *:

в колбы А и А₁ — 100 мг/л NaOH;
в колбы Б и Б₁ — 250 мг/л NaCl;
в колбы В и В₁ — 100 мг/л HCl.

В колбы А, Б, В всыпают по 100 г испытуемого материала, предварительно промытого водой и высушенного на воздухе. В колбы А₁, Б₁, В₁ не всыпают ничего.

Колбы А, Б, В взбалтывают через каждые 2 ч, и через 24 ч содержимое каждой из шести колб фильтруют через беззолые фильтры. В фильтрате определяют сухой остаток выпариванием; перманганатную окисляемость (только при антраците, коксе и пековом коксе), кремнекислоту — сульфомолибденовым способом только при силикатных материалах.

Разница в массе сухого остатка не должна превышать в колбах А, А₁, Б, Б₁, В и В₁ 200 мг/л, в колбах А₁ и А 10 мг/л кремнекислоты, в колбах Б₁ и Б 10 мг/л O₂ перманганатную окисляемость (по Кубелю).

Определение динамической обменной емкости ионитов (ДОЕ и ПДОЕ). Для определения обменной емкости ионитов нужен лабораторный стеклянный или плексигласовый фильтр $d_{\text{вн}}=15 \div 30$ мм, $h=500 \div 800$ мм с впаиванной пористой стеклянной пластинкой в нижней части фильтра или плексигласовой пластинкой $d=0,5$ мм (рис. 3.18).

В фильтр, залитый водой или 10—12 %-ным раствором NaCl, на высоту не менее 400 мм переносят набухший (см. выше) ионит и промывают его водой снизу, не допуская выноса зерен. Затем фильтр в зависимости от вида иона регенерируют 4—5 %-ным NaCl, 1 %-ным H₂SO₄, или 3 %-ным HCl, или 4 %-ным NaOH, отмывают от продуктов регенерации водой из водопровода или дистиллятом до удаления избытка регенерационного раствора (NaCl, H₂SO₄, HCl, NaOH), после чего фильтр считается подготовленным для испытаний.

Возможны случаи поступления на энерго-

* Возможно применение колб меньшего объема при соответствующем уменьшении количества исследуемого материала, объема воды и количества прибавляемого реактива (NaOH, NaCl, HCl).

объекты ионитов с неизвестной маркой, и нужно узнать, является ионит катионитом или анионитом. В этом случае после регенерации материала раствором NaCl или HCl пропускают через него водопроводную воду и сравнивают качество фильтрата с исходной водой. Если в воде после фильтра отсутствует жесткость или присутствует ион H^+ , то материал является катионитом; если жесткость остается неизменной, то материал — анионит.

При испытании катионита, бывшего в работе (из промышленных фильтров), необходимо испытание вести в два этапа — первый с образцом, взятым из фильтра (не менее трех опытов) и с тем же образцом, промытым в лабораторном фильтре 3—5 %-ным раствором HCl до исчезновения окраски промывных вод, и затем с образцом, отрегенированным NaCl (не менее трех опытов).

Для определения полной динамической обменной емкости катионита или рабочей емкости пригодна водопроводная вода с жесткостью для сульфогеля 3—5, для катионита КУ-2 8—10 мг-экв/л.

Если водопроводная вода слишком мягкая, к ней в бутылку прибавляют $CaCl_2$, $MgCl_2$, чтобы сократить продолжительность испытаний.

Фильтр устанавливают возле водопроводной раковины, а бутылки для исходной воды и регенерационных растворов — на полках выше фильтра на 1—1,5 м. Заполнение бутылей водой или растворами NaCl, H_2SO_4 , NaOH следует производить при помощи водоструйного вакуум-насоса. Бутылки должны быть отградуированы в литрах, метки наносятся черной или белой краской (лаком).

Для регенерации следует применять хлористый натрий — поваренную соль квалификации ч или пищевую соль сортов экстра и высшего, серную кислоту квалификации ч или техническую контактную, улучшенную, высшего и первого сортов или аккумуляторную, едкий натр квалификации ч или технический высшего сорта.

Определение динамической емкости с нормированным расходом соли (ДОЕ). Загруженный в фильтр 7 (см. рис. 3.18) катионит дважды регенерируют указанным в табл. 3.14 объемом 5—10 %-ного раствора соли, последние порции раствора настаивают с катионитом в течение 20—30 мин и затем отмывают его от соли и продуктов регенерации ($CaCl_2$, $MgCl_2$) дистиллированной или водопроводной водой. В процессе отмывки контролируют жесткость воды на выходе из фильтра. Когда жесткость воды, прошедшей через фильтр, снижается до 20 мг-экв/л, фильтрат собирают в мерный цилиндр или другую мерную посуду, отбирая

объемом 100 мл. Чтобы во время пропуска воды и раствора NaCl над поверхностью катионита в фильтре находился слой воды не менее 50 мм, кончик сливной трубки у цилиндра 8 должен находиться на 50 мм выше поверхности катионита.

Скорость пропуска как исходной воды, так и раствора NaCl 5 м/ч, расход воды (раствора) в мл/мин в зависимости от диаметра фильтра указан в табл. 3.14.

Как только жесткость умягченной воды после фильтра повысится до 20—50 мг-экв/л, отмечают количество воды, пропущенное с начала умягчения. После начала повышения жесткости в фильтрате пробы на анализ отбирают чаще — через каждые 100 мл.

Когда жесткость повысится до 500 мг-экв/л, пропуск воды прекращают, и опыт считается законченным. Рабочую емкость катионита, г-экв/м³, находят по формуле

$$ДОЕ = \frac{Ж_{и} V_{в}}{V_{к} 0,001}.$$

Здесь $Ж_{и}$ — жесткость исходной воды, мг-экв/л; $V_{в}$ — количество пропущенной воды от начала умягчения до момента достижения в фильтрате жесткости, равной 20—50 мг-экв/л; $V_{к}$ — объем катионита, см³ (мл).

Ориентировочные показатели количества пропущенной воды в зависимости от марки и сорта катионита и его объема в фильтре приведены в табл. 3.14.

Количество жесткости, г-экв/м³, поглощенное фильтром после повышения жесткости свыше 20 мг-экв/л, г-экв/м³, показывает хвостовую обменную емкость катионита $E_{хв}$, которая определяется по формуле

$$E_{хв} = \frac{(Ж_{и} - 0,5) V_{хв}}{V_{к} \cdot 0,001}.$$

Здесь $E_{хв}$ — хвостовая емкость поглощения, г-экв/м³ (обычно 10—15 % ДОЕ); $Ж_{и}$ — жесткость исходной воды, мг-экв/л; 0,5 — жесткость воды после фильтра при окончании использования хвостовой емкости поглощения, мг-экв/л; $V_{хв}$ — объем воды, пропущенной во время использования хвостовой емкости поглощения, л; $V_{к}$ — объем катионита, см³ (мл).

По окончании периода умягчения подачу в фильтр исходной воды прекращают и проводят регенерацию так же, как производили и первую, но с той разницей, что подают только одну порцию раствора соли. Сначала взрыхляют катионит водопроводной водой, подаваемой снизу, не допуская выноса зерен крупнее 0,1—0,2 мм, затем подают в фильтр

таблица 3.14. Ориентировочные показатели опытов для определения ДОЕ и ПДОЕ катионита в лабораторных фильтрах

Показатель	Диаметр фильтра внутренний, мм			
	15	20	25	30
Площадь фильтра, см ²	1,78	3,14	4,9	7,1
Высота фильтра общая, мм	600—800	600—800	600—800	600—800
Высота слоя катионита, мм	400	400	400	400
Объем катионита, см ³	71	125	196	286
Емкость поглощения фильтра, мг-экв: при загрузке сульфоглем и КУ-1 с ДОЕ 300 мг-экв/л	21	40,6	60	90
при загрузке катионитом КУ-2 с ДОЕ 1000 мг-экв/л	70,0	125	200	300
Расход через фильтр, мл/мин: скорость фильтрования $\omega = 5(10)$ м/ч	15(30)	25(50)	40(80)	60(120)
Возможное количество пропускаемой воды за период умягчения при определении ДОЕ, л, при жесткости исходной воды 4 мг-экв/л:				
для сульфогля и КУ-1	5,3	9,7	14,7	21,5
для катионита КУ-2	17,8	24,8	35,8	71,5
Продолжительность опыта при $\omega = 5 \div 10$ м/ч, ч:				
для сульфогля	3—6	3—6	3—6	3—6
для катионита КУ-2	10—20	10—20	10—20	10—20
Количество NaCl, потребное на регенерацию сульфогля и КУ-1 при удельном расходе 200 г/г-экв	4,2	6	12,6	17
То же катионита КУ-2 при удельном расходе 150 г/г-экв	10,5	15	32	42,5
Объем 5%-ного раствора NaCl на одну регенерацию сульфогля и КУ-1, мл	85	120	250	340
Объем 10%-ного раствора NaCl на одну регенерацию катионита КУ-2, мл	110	300	640	850

сверху заданное количество 5 (10) %-ного раствора соли, последним порциям дают контактировать с катионитом 20—30 мин и, наконец, отмывают водопроводной водой до снижения жесткости до 10—20 мкг-экв/л, после чего осуществляют процесс умягчения. Циклы умягчения и регенерации повторяют еще 3 раза и определяют ДОЕ, как описано выше. В расчет берут только близко совпадающие результаты ($\pm 5\%$).

Определение полной динамической обменной емкости (ПДОЕ). Определение ПДОЕ проводится так же, как и определение ДОЕ, но со следующими отличиями. При регенерации через фильтр пропускается избыточное количество раствора соли, примерно 10-кратное (т. е. ≈ 600 г/г-экв) или тройное количество по объему. При этом после настаивания последней порции раствора соли ее жесткость не должна повышаться по сравнению с жесткостью исходного раствора.

После обычной отмывки катионита от соли проводят умягчение водопроводной или искусственно приготовленной жесткой воды

до повышения жесткости до 20—50 мкг-экв/л, затем продолжают пропускать воду через фильтр до тех пор, пока жесткость фильтрата не сравняется с жесткостью исходной воды.

Определив жесткость в каждом 100 мл пропущенной воды, среднюю жесткость пропущенной воды находят, деля суммарную жесткость всех проб на их число, т. е.

$$J_{\text{хв}}^{\text{ср}} = \frac{J_1 + J_2 + J_3 + \dots + J_n}{n}$$

ПДОЕ, г-экв/м³, находят по формуле

$$\text{ПДОЕ} = \text{ДОЕ} + \frac{(J_{\text{н}} - J_{\text{хв}}^{\text{ср}}) V_{\text{хв}}}{V_{\text{к}} \cdot 0,001} =$$

$$= 1,3 \div 1,5 \text{ ДОЕ.}$$

Определение ПДОЕ повторяют несколько раз и берут близко совпадающие значения ПДОЕ. В спорных случаях или при проведении точных исследований обменная емкость должна определяться по ГОСТ 20255—74 «Методы определения динамической обменной емкости».

3.12. Применение индикаторов в тепловых сетях и конденсаторах для контроля процессов накипеобразования и коррозии

Состояние внутренней поверхности конденсаторных трубок и труб систем теплоснабжения с точки зрения коррозии и накипеобразования может быть достоверно установлено только во время капитальных ре-

монтов, когда возможны вырезка и осмотр аварийных и контрольных участков, т. е. очень редко, тогда как такие осмотры особенно при неудовлетворительном водно-химическом режиме, подпитке систем теплоснабжения и охлаждения конденсатов жесткой, содержащей кислород водой необходимо проводить более часто (2—4 раза в год), чтобы принять своевременные меры против аварийного выхода оборудования из строя.

На рис. 3.19 показаны схемы установки

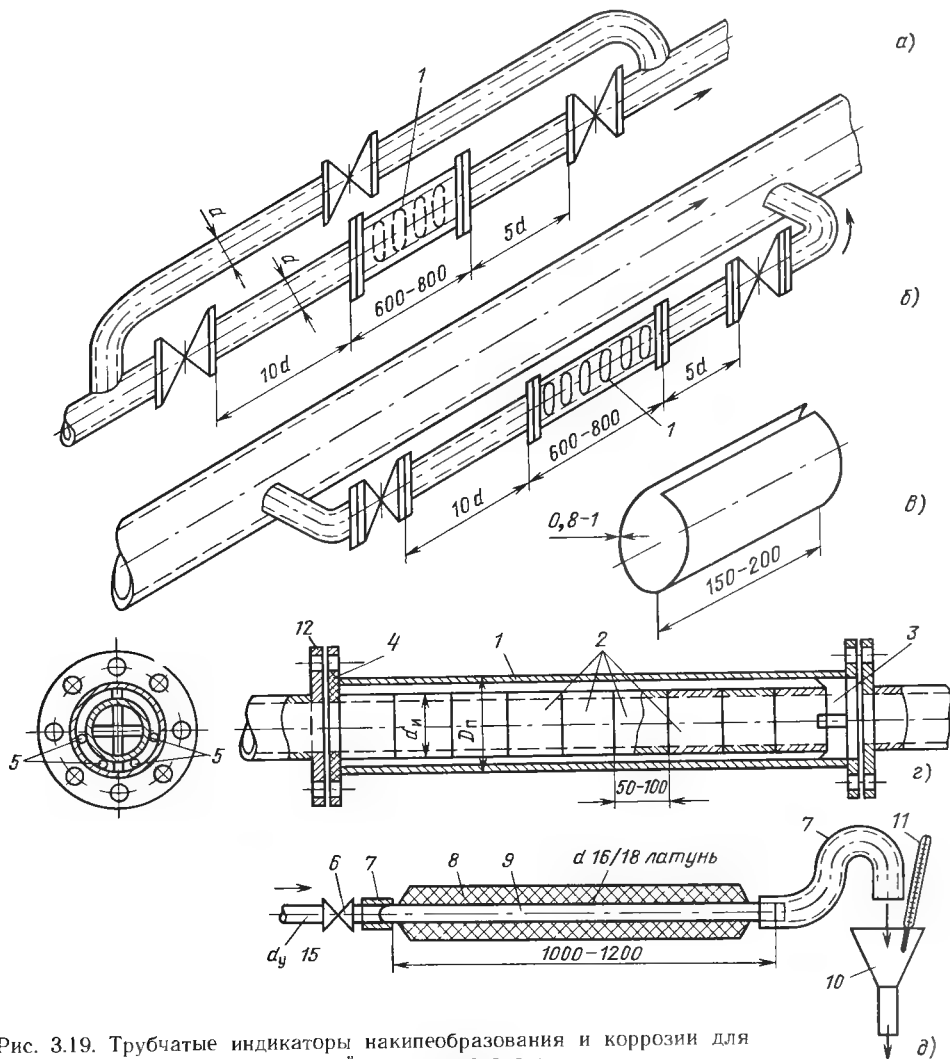


Рис. 3.19. Трубчатые индикаторы накипеобразования и коррозии для тепловых сетей и конденсаторов:

а — установка в основном трубопроводе; б — установка на байпasse; в — цилиндрический элемент индикатора АКХ; г — общий вид составного трубчатого индикатора; д — индикатор для конденсаторов; 1 — патрон; 2 — индикаторы, $l = 50 \div 100$ мм; 3 — упорная крестовина; 4 — уплотняющее кольцо; 5 — дистанционирующие стержни; 6 — вентиль; 7 — резиновая трубка; 8 — изоляция; 9 — индикатор — латунная трубка; 10 — сливная воронка; 11 — термометр; 12 — фланец

d_n , мм	57	89	108	133
D_n , мм	89	108	133	159

трубопроводов индикаторов на горизонтальных участках систем тепловодоснабжения при d , трубопроводов 80—125 мм и при больших диаметрах.

На рис. 3.19, *в* показан тонкостенный индикатор конструкции АКХ РСФСР, на рис. 3.19, *г* — составной индикатор конструкции Союзтехэнерго — Оргкомунэнерго, а на рис. 3.19, *д* — индикатор накипеобразования ЦЭЧМ в конденсаторах.

Индикатор на рис. 3.19, *а* — *в* представляет собой патрон — кусок трубы несколько большего диаметра, чем диаметр трубопровода, в который помещаются наборы образцов. Каждый набор состоит из отрезков трубы точно такого же диаметра, как и трубопровод, в который ставят патрон. Плотная стыковка отрезков и дистанционирующие стержни обеспечивают равные скорости движения и температуры воды внутри индикатора и в трубопроводе. Наборы образцов индикатора вырезаются из тех же труб, из которых изготовлен сам трубопровод. Имеющиеся на внутренней поверхности отрезков новых труб отложения и оксиды не удаляются. Торцевые поверхности образцов и их наружная поверхность окрашиваются лаком. Каждый образец номеруется и взвешивается. Образцы в количестве 6—10 шт. собираются, устанавливаются в патроне и центрируются при помощи дистанционирующих стержней. Набор образцов закрепляется в патроне при помощи резинового кольца. Патрон устанавливается или в самом трубопроводе *А*, или на байпасе.

Установленный в трубопроводе патрон с индикаторами — образцами труб включается в работу открытием задвижек.

Через 1, 3, 6, 9, 12 мес работы индикатора его вынимают и извлекают из патрона образцы, находящиеся ближе к упорной крестовине. Вынутые образцы осматривают и взвешивают, определяют цвет, толщину, состав и другие свойства отложений, а также наличие, диаметр и глубину язв кислородной коррозии. При отсутствии язв и заметных отложений образцы снова вставляют в патрон, ставят его на место и включают в работу.

При наличии на образцах отложений, язв и т. п. их из набора удаляют, оставшиеся образцы ставят ближе к упорной крестовине, а с противоположной (входной) стороны ставят два-три новых образца, зажимают их в патроне дистанционирующими стержнями и резиновым кольцом, затем снова ставят патрон на место и включают в работу на новый срок.

При быстром накоплении отложений или при сильной коррозии патроны с индикаторами вынимают и осматривают через 1,3 мес, при медленном — через 6, 9, 12 мес.

Все результаты осмотров, замеров и анализов записывают в журнал. Эти результаты являются основанием для оценки состояния трубопроводов системы тепловодоснабжения и принятия мер.

Индикатор АКХ (рис. 3.19, *в*) изготавливается из простой листовой стали или кровельного железа толщиной 0,5—1,0 мм. Кусок железа свертывают в виде цилиндра и вставляют или в рабочий трубопровод системы тепловодоснабжения, или в выемной патрон. Снаружи цилиндр окрашивают масляной краской или покрывают лаком, он должен слегка пружинить в трубе.

После того как индикатор простоял в трубопроводе 1, 3, 6, 9 мес, его извлекают, разгибают без ударов до плоского состояния и осматривают, фиксируя отложения и язвы кислородной коррозии (см. выше), а также отрезки труб индикаторов *А*, *Б*, *Г*.

Индикатор накипеобразования и коррозии для конденсаторных трубок (рис. 3.19, *д*) представляет собой отрезок латунной трубки того же диаметра, что и трубки в конденсаторе (теплообменнике), и длиной 1000—1200 мм. Его устанавливают на сбросе охлаждающей воды после вентиля и снаружи наносят теплоизоляцию. Через индикатор должна проходить вода с той же скоростью, что и в трубках конденсатора, причем индикатор должен быть постоянно заполнен водой, для чего сливной конец резиновой трубки (шланг) должен находиться выше индикатора. На сливе измеряются расход воды и температура. Сливаемая вода должна направляться в приемный колодец циркуляционных насосов.

Желательна установка двух индикаторов: из новой трубки, не бывшей в работе, и из трубки, бывшей в работе и слегка протравленной 2—3 %-ным раствором HCl для удаления отложений. Замечено, что отложения на шероховатой поверхности трубок образуются более интенсивно, чем на гладкой поверхности новых трубок.

Вынутые индикаторы заменяют новыми, а работавшие разрезают на куски длиной 150—250 мм, разрезают вдоль на две половины и осматривают. Результаты осмотра записывают в журнал и по ним принимают меры для снижения накипеобразования и удаления отложений.

3.13. Вырезка контрольных участков и оценка состояния тепловыделительного оборудования

Во время капитальных ремонтов необходимо вырезать контрольные участки труб поверхности нагрева из наиболее опасных мест,

с наибольшими теплонпряжениями и доступных для работы по вырезке и вставке контрольных участков. Доступность определяется расположением каркаса, газоходов, горелок, а теплонпряженность — близостью очага горения (слоя, ядра факела).

К таким местам поверхностей нагрева относятся (рис. 3.20) трубы боковых экранов, солевых (продувочных) отсеков, наиболее близкие к ядру факела (не выше 1,5 м над центром ядра), работающие на воде, с наиболее высокой концентрацией примесей, трубы боковых экранов чистых и солевых отсеков напротив горелок без закручивания факела, трубы фронтального и заднего экранов в зоне ядра факела, трубы фестона и трубы 1—3-го рядов конвективного пучка в центре топki, входные участки змеевиков экономайзера, входные и выходные участки змеевиков пароперегревателя с наивысшими температурами пара.

При вырезке контрольного участка недопустимо попадание капель металла, графа, опилок и шлака в нижнюю часть трубы. Реко-

мендуется сначала разрезать трубу сначала внизу контрольного участка, затем отводить трубу и отрезать участок сверху. От вырезанных контрольных участков длиной 600–800 мм отрезают оплавленные концы длиной 50–70 мм ножовкой или на токарном станке*, а из средней части вырезаются образцы длиной 150–200 мм. Их разрезают вдоль на строгальном или фрезерном станке (или ножовкой) на две части: обращенную в топку и обращенную к кладке (рис. 3.21). Каждую половину разрезанного образца подвергают тщательному осмотру и описывают толщину, цвет, твердость, слоистость, сцепляемость с металлом и другие свойства отложений, а также глубину и диаметр язв кислородной коррозии и число их на 100 см². Если отложения прочно сцеплены с металлом, образец сгибают и разгибают в слесарных тисках. Взвешивают удаленные отложения и измеряют площадь, с которой они удалены, для каждой половины разрезанного образца. Нагар, шлак с наружной поверхности образцов предварительно удаляют, зачищая трубу до металла и следя за тем, чтобы наружные загрязнения не смешались с внутренними. Все вырезанные образцы обе-

* Абразивные режущие диски, трубоотрезные машинки типов: ОЭС-840, СА-60М и МРТ-2 для вырезки труб из поверхности нагрева применять нельзя, а для разрезки они не рекомендуются из-за загрязнения отложений мелкими каплями металла.

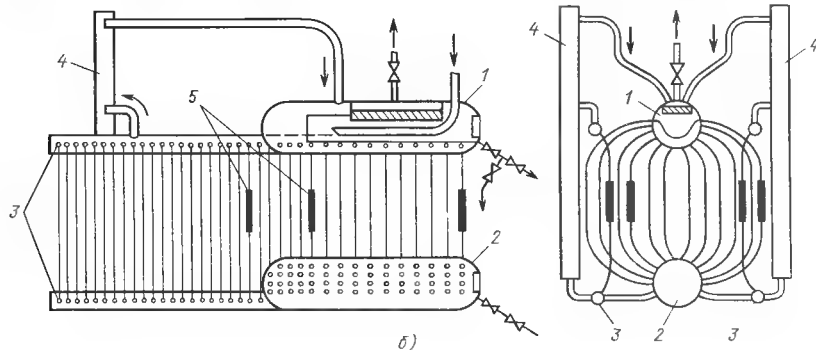
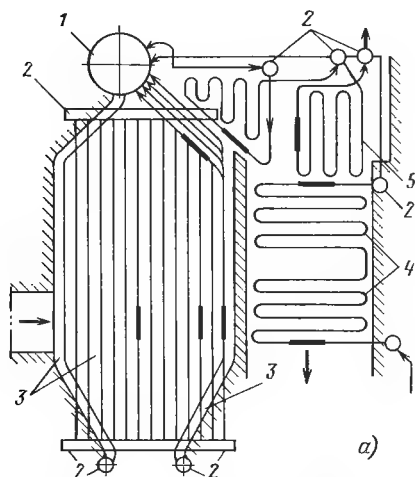


Рис. 3.20. Вырезка контрольных образцов из труб поверхностей нагрева:

а — котла БКЗ-75; 1 — верхний барабан; 2 — коллектор; 3 — экраны; 4 — водяной экономайзер; 5 — пароперегреватель; б — котла ДКВр-20; 1, 2 — верхний и нижний барабаны; 3 — коллекторы экранов солевого отсека; 4 — выносные циклоны; 5 — экраны

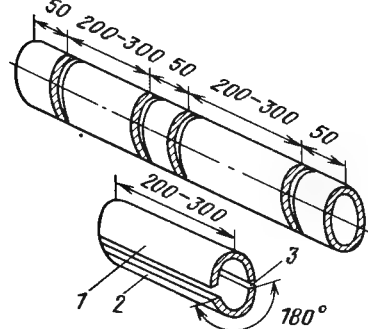


Рис. 3.21. Разрезка контрольных образцов:
1 — огневая сторона; 2 — тыльная сторона; 3 —
линия разреза

регают от ударов. Снятые отложения подвер-
гают химическому анализу.

Один образец с наклеенной на него эти-

кеткой или привязанной биркой должен хра-
ниться в специальном шкафу в химическом
или котельном цехе для сравнения с состояни-
ем образцов, которые будут вырезаны при
последующих капитальных ремонтах.

Если вырезки контрольных участков по-
сле трех-четырех кампаний работы котла,
т. е. после трех-четырех капитальных ремон-
тов, а также вырезки из однотипных котлов,
работающих в одинаковых тепловых и гидрав-
лических условиях, будут свидетельствовать
о хорошем состоянии поверхностей нагрева, то
периоды между вырезками контрольных
участков можно увеличить до 2—3 лет (меж-
ремонтных кампаний) или делать вырезки из
однотипных котлов поочередно — один год из
котла № 1, на следующий год из котла
№ 2 и т. д.

Сравнительная оценка состояния поверх-
ностей нагрева котлов по накипи, коррозии,
отложениям и растворимым солям дается
в табл. 3.15—3.19.

Т а б л и ц а 3.16. Примерная оценка состояния водного режима по

Оценка состояния	Показатели		
	Питательная вода		
	Значение pH	Жесткость, Fe, Cu, O ₂ , CO ₂ , NH ₃	Сухой остаток, солесодержание
Отличное	8,5 9,2	Без отклонений в сто- рону превышения	90 100 % нормы
Хорошее	8,5 9,0	Превышение норм не более чем на 25 % в те- чение не более 3 % вре- мени (25 ч в месяц)	80 100 % нормы
Удовлетворительное	7—10,5	Превышение норм не более чем на 50 % в те- чение не более 7 % вре- мени (50 ч в месяц)	70—100 % нормы
Плохое	6,5 -7,0 и выше 11,0	Превышение норм не более чем на 100 % в те- чение не более 15 % вре- мени	60—110 % нормы
Очень плохое	Ниже 6,5 и выше 12,0	Превышение норм бо- лее чем на 100 % в тече- ние более 15 % времени (более 100 ч в месяц)	50—120 % нормы

¹ При нормированной относительной щелочности котловой воды.

² 50 мг/л для чистых, 200 мг/л для солевых отсеков.

³ В скобках значения для котлов с заклепочными соединениями.

⁴ Влажность насыщенного пара до 1 %.

Т а б л и ц а 3.15. Характеристика примерных оценок состояния поверхностей нагрева котлов

Оценка состояния	Основания для оценки
Отличное	Отсутствие каких-либо отрицательных замечаний по состоянию поверхности нагрева (накипь, коррозия, отложение солей)
Хорошее	Незначительные явления коррозии только стояночного происхождения, незначительные отложения накипи или продуктов коррозии, незначительные солевые наносы, позволяющие агрегату проработать 2—3 года без капитального ремонта и удаления отложений
Удовлетворительное	Более значительные явления коррозии, более существенные отложения продуктов коррозии, накипи, растворимых солей, не препятствующие, однако, работе котла в течение года и не вызывающие необходимости в капитальных ремонтах и удалении отложений чаще чем 1 раз в год (8—10 тыс. ч)
Неудовлетворительное	Еще более значительные явления коррозии, более опасные по размерам отложения продуктов коррозии, накипи, солей, требующие останова агрегата и устранения ненормальностей в течение 1—3 ближайших месяцев
Аварийное	Состояние, требующее немедленной остановки для устранения ненормальности

данном химического контроля (отклонения от установленных норм)

качества пара и воды

Котловая вода			Пар перегретый ⁴
Доля щелочности в сухом остатке или относительная щелочность $Щ_{отн}$, % ¹	Фосфат-ион PO_4^{3-}	Щелочность по фенолфталеину $Щ_{фф}$	Солесодержание в пересчете на NaCl, свободная углекислота CO_2
10—20 %	100—120 % минимума	Не ниже установленных норм	Без превышений
5—30 % (10—20) ²	100—150 % минимума	Не ниже установленных норм	Превышение не более чем на 25 % в течение не более 3 % времени (25 ч в месяц)
5—50 % (<20) ³	100—170 % минимума	Наличие окраски по фенолфталеину	Превышение норм не более чем на 50 % в течение не более чем 7 % времени (50 ч в месяц)
<5 и >50 % (>20) ³	75—200 % минимума	Отсутствие не более чем в 20 % анализов	Превышение норм не более чем на 100 % в течение не более 15 % времени (100 ч в месяц)
<5 и >50 % (>50) ³	Ниже 3 мг/л и более 50 мг/л ²	Отсутствие более чем в 20 % анализов	Превышение норм более чем на 100 % в течение более 15 % времени (более 100 ч в месяц)

Т а б л и ц а 3.17. Примерная оценка состояния элементов паровых котлов по коррозии и межкристаллитным повреждениям

Оценка состояния	Стальные экономайзеры	Паровой котел, барабан, испарительная поверхность	Пароперегреватель
Отличное	Отсутствие язв во входной части	Отсутствие язв в барабанах, сухопарниках и трубах, межкристаллитных трещин, течей и солевых наростов снаружи котла	Отсутствие язв и черного налета во выходной части
Хорошее	Затянувшиеся сухим налетом язвы прекратившейся коррозии глубиной не более 0,5 мм	Язвы прекратившейся коррозии глубиной до 1-2 мм, отсутствие межкристаллитных трещин, течей и наружных солевых наростов	Отсутствие черного налета во выходной части, язвы прекратившейся коррозии
Удовлетворительное	Отдельные свежие язвы стояночного происхождения числом 1—2 шт. на 100 см ² внутренней поверхности входного коллектора и в устьях труб при глубине их не более 0,2—0,3 мм	Отдельные свежие язвы стояночного происхождения только в барабане, сухопарнике или в устьях труб при числе их до 1 на 100 см ² и глубине до 0,5-0,7 мм, отсутствие трещин, течей и наружных солевых наростов	Тонкий черный налет, отдельные язвы стояночного происхождения и только в коллекторах насыщенного и перегретого пара при числе их не более 1 шт. на 100 см ²
Плохое	Свежие язвы на внутренней поверхности коллектора и в устьях труб числом до 20 на 100 см ² , глубиной до 1 мм	Свежие язвы числом до 5 на 100 см ² при глубине до 2 мм, наличие наростов солей на наружной поверхности нагрева, возле заклепочных и вальцовочных соединений, отсутствие межкристаллитных трещин	Черные отложения в выходной части толщиной до 0,2 мм, отдельные свежие язвы в коллекторах при числе их до 5 шт. на 100 см ² и глубине до 1 мм
Аварийное	Свежие язвы с черной жидкостью под бугорками, начинающие сливаться в сплошную корку	Отдельные язвы при числе их более 5 на 100 см ² глубиной более 2 мм, наличие межкристаллитных трещин	Черные отложения в выходной части толщиной более 0,2 мм, свежие язвы при числе более 5 шт. на 100 см ² , глубиной более 1 мм, наличие трещин, свищей, отдулин, разрывов

Т а б л и ц а 3.18. Оценка интенсивности коррозии паровых котлов среднего давления

Характеристика коррозионного процесса	Скорость язвенной коррозии, мм/год	Скорость равномерной коррозии, мм/год	Содержание железа Fe в питательной воде в результате коррозии тракта питательной воды, мг/л	Наличие коррозионных межкристаллитных трещин в соединениях элементов
Коррозия практически отсутствует	0-0,05	0—0,02	0—0,02	Отсутствуют
Слабая коррозия	0,05-0,1	0,02—0,04	0,02—0,03	»
Допустимая коррозия	0,1-0,15	0,04—0,05	0,03—0,07	»
Сильная коррозия	0,15-0,6	0,05-0,2	0,07—0,2	Обнаруживаются
Аварийная коррозия	Более 0,6	Более 0,2	Более 0,2	»

Таблица 3.19. Примерная оценка состояния оборудования по заносу его растворимыми солями (из расчета годовой работы оборудования)

Оценка состояния	Барабан	Пароперегреватель		Результаты промывки отдельных змеевиков пароперегревателя		Турбины	
		Средний коллектор или входная средняя часть змеевиков с $t = 200 - 350^\circ\text{C}$	Выходная часть змеевиков, выходной коллектор паропровода	Замкнутая или проточная промывка со сбором воды, г/змеевик	Проточная без сбора воды, максимальный прирост соледоержания, мг/л	Входная часть	Средняя часть
Отличное	Шламовые «языки» и атеки в паровом объеме отсутствуют	Солевых натеков и отложений нет		До 5	До 50	Солевых налетов и отложений кремнекислоты нет	
Хорошее	Шламовые «языки» над уровнем воды на высоту до 100 – 150 мм	Поверхность слегка припудрена белым налетом солей	Солевых налетов нет	5 – 20	50 – 100	Солевых налетов и отложений кремнекислоты нет	Незначительное припудривание проточной части
Удовлетворительное	Шламовые «языки» атеки не достигают пароприемного устройства	Поверхность покрыта белым налетом солей толщиной до 0,1 мм	Легкое припудривание	20 – 50	100 – 200	Солевых налетов нет	Солевые налеты толщиной до 0,1 мм, не вызывающие прироста давления в контрольной ступени
Плохое	Вся поверхность парового объема, включая пароприемные (несепарирующие) устройства, покрыта тонким слоем налета, уровень воды по шламу замечен	Значительные солевые отложения в виде пятен, натеков и сплошные толщиной менее 0,2 мм	Солевые отложения, имеющие толщину более 0,1 мм	50 – 100	200 – 1000	Налет солей	После года эксплуатации солевые отложения толщиной 0,1 – 0,3 мм, вызывающие прирост давления в контрольной ступени, но не выше установленного уровня, отложения кремнекислоты, нерастворимые в воде
Аварийное	Весь паровой объем барабана покрыт шламом, и уровень воды в барабане незаметен	Солевые отложения, приводящие к пережогу или закупорке труб		Более 100	Более 1000	Солевые и кремнекислые отложения, приводящие к повышению давления в контрольной ступени турбины выше установленного предела, к снижению мощности турбины и повышению расхода пара на 1 кВт·ч	

Примечание. Шламовые «языки» атеки свидетельствуют о местных фонтанах – забросах котловой воды в паровой объем.

3 14. Растворы аналитических реактивов

Приготовление титрованных 0,1 н. растворов из фиксаналов. Для приготовления титрованных растворов выпускаются фиксаналы следующих реактивов: H_2SO_4 , HCl , $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, NaOH , Na_2CO_3 , NaCl , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, $(\text{AgNO}_3)^*$, KMnO_4 , J_2 , $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Каждая ампула рассчитана на приготовление 1 л 0,1 н. раствора.

Титрованные растворы, приготовленные из фиксаналов, обычно не нуждаются в установке титра, и сами могут применяться для установки титра других титрованных растворов (см. ниже).

В ряде случаев пользуются 0,01 н. растворами, которые готовят, разбавляя 0,1 н. раствор в 10 раз дистиллятом (1:9). 0,01 н. раствор менее устойчив, чем 0,1 н., и титр его обычно не устанавливают.

В мерную литровую колбу вставляют специальную воронку с «бойком» и, вложив в воронку ампулу с фиксаналом, разбивают о «боек» концевое углубление ампулы, затем стеклянной заостренной палочкой разбивают боковое углубление и полностью переносят содержимое ампулы в мерную колбу. После этого обмывают дистиллированной водой из промывалки стенки ампулы, изнутри воронку и «боек», смывая все задержавшиеся кристаллики реактива в мерную колбу. Затем перемешивают содержимое колбы до полного растворения кристаллов и доводят объем раствора в колбе до метки. Раствор в колбе снова перемешивают, после чего он становится пригодным для употребления.

Раствор фиксанала NaOH в ампуле нередко мутнеет вследствие выщелачивания стекла, поэтому титр приготовленного из фиксанала 0,1 н. раствора NaOH следует проверять по 0,1 н. раствору кислоты и вводить поправку. Если поправочный коэффициент, определенный при установке титра, составляет 0,99—1,01, то его в расчетах не принимают, так как погрешность при текущем контроле обычно больше.

При отсутствии фиксаналов титрованные растворы готовят из сухих (лучше — из перекристаллизованных) или жидких реактивов при обязательной установке их титра или по растворам с точно установленным титром, или по навескам соответствующих реактивов.

* AgNO_3 как соль драгоценного металла применять не рекомендуется, в крайнем случае из отработанных аналитических растворов серебро необходимо регенерировать, норма возврата около 80 %.

Приготовление титрованных 0,1 н. растворов из концентрированных сухих или жидких реактивов. *Соляная кислота HCl* . Молекулярная и эквивалентная масса 36,46, плотность х.ч. HCl 1,19, массовое содержание HCl 35—38 %, молярность 11,8. Для получения 1 л 0,1 н. HCl берут 8,5—9,0 мл х.ч. HCl , доводят до 1 л дистиллятом и после перемешивания устанавливают титр по точным 0,1 н. растворам или NaOH , или Na_2CO_3 , приготовленным из фиксаналов, или по навескам перекристаллизованной х.ч. буры $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, или х.ч. Na_2CO_3 (сухой или свежеперекристаллизованной десятиводной). Индикатор — метилоранж, при Na_2CO_3 — еще и фенолфталеин.

0,1 н. раствор HCl следует готовить несколько более концентрированным, чтобы после первоначального титрования при установке титра довести концентрацию точно до 0,1 н. прибавлением расчетного количества дистиллята.

Серная кислота H_2SO_4 . Молекулярная масса 98,078, эквивалентная масса 49,039, плотность х.ч. $\text{H}_2\text{SO}_4 = 1,84$, содержание H_2SO_4 94—95 %, молярность 17,5 или нормальность около 35. Для получения 0,1 н. раствора H_2SO_4 необходимо взять 4,9 г 100 %-ного H_2SO_4 или 2,75—2,8 мл, и влить это количество примерно в 950 мл дистиллята. После тщательного перемешивания устанавливают титр 0,1 н. раствора H_2SO_4 точно так же, как и 0,1 н. HCl , т. е. по 0,1 н. NaOH или по навескам буры или соды, и в случае необходимости доводят дистиллятом точно до 0,1 н. концентрации. Индикатор — метилоранж, при Na_2CO_3 — еще и фенолфталеин.

10 н. H_2SO_4 для определения перманганатной окисляемости готовят, доливая 380 мл H_2SO_4 плотностью 1,83—1,84 к 1 л дистиллята при охлаждении колбы (не допуская кипения).

Едкий натр NaOH . Молекулярная и эквивалентная масса 40,0. Для получения 0,1 н. раствора NaOH нужно взять 4 г/л 100 %-ного NaOH . Титр устанавливают по точному 0,1 н. раствору HCl или H_2SO_4 . Индикатор — метилоранж.

При применении твердого реактивного NaOH берут некоторое его количество (10—50 г) и растворяют в 8—40 мл дистиллята в колбе-цилиндре до получения насыщенного раствора (на дне должны остаться кусочки нерастворившегося NaOH). После отстаивания в течение 3—5 сут осторожно, чтобы не взмутить осадка, отбирают градуированной пипеткой 5 мл насыщенного раствора NaOH , переносят в мерную литровую колбу и доводят объем до 1 л прокипяченным дистиллятом. После охлаждения устанавливают титр по точно-

му 0,1 н. раствору HCl или H₂SO₄. Индикатор — метилоранж.

Кальцинированная сода Na₂CO₃ или Na₂CO₃·10H₂O. Молекулярная масса соответственно 106,0 и 286,0; эквивалентная масса 53 и 143. Для приготовления 1 л 0,1 н. раствора берут 5,3 г/л безводной Na₂CO₃ или 14,3 г/л Na₂CO₃·10H₂O.

Титр устанавливают по точно 0,1 н. раствору HCl или H₂SO₄.

Применяют индикаторы фенолфталеин и метилоранж (по фенолфталеину титруется Na₂CO₃ до NaHCO₃, т. е. как бы половина).

Щавелевая кислота H₂C₂O₄·2H₂O. Молекулярная масса 126,07, эквивалентная масса 63,03 г. 0,1 н. раствор содержит 6,3 г/л. К 975 мл раствора, содержащего 6,3 г щавелевой кислоты, прибавляют 25 мл H₂SO₄ плотностью 1,84.

Титр устанавливают по 0,1 н. раствору KMnO₄, выполняя все операции аналогично определению окисляемости. Обычно работают с 0,01 н. раствором.

Удобно заменять щавелевую кислоту безводным, устойчивым на воздухе щавелевокислым натрием Na₂C₂O₄, перекристаллизованным и высушенным при 150–200 °С. Для получения 0,1 н. раствора берут 6,700 г Na₂C₂O₄ и также доливают 25 мл/л H₂SO₄ плотностью 1,84.

Калий марганцовокислый — перманганат калия KMnO₄. Молекулярная масса 158,03, эквивалентная масса по кислороду 31,6. 0,1 н. раствор — 3,2 г/л KMnO₄. Титр устанавливают по растворам H₂C₂O₄ или Na₂C₂O₄ с точно установленным титром, выполняя операции аналогично определению окисляемости. Обычно работают с 0,01 н. раствором, 1 мл которого эквивалентен 0,08 мг О₂. Раствор хранят в темноте или в склянке из темного стекла, или в склянке, обернутой темной бумагой.

Серебро азотнокислое AgNO₃. Молекулярная масса 169,89, эквивалентная масса 169,89. Титрованный раствор содержит в 1 мл количество серебра, отвечающее 1 мг Cl[–], для чего 4,8 г AgNO₃ растворяют в дистиллированной воде в мерной колбе объемом 1 л. Обязательный сбор оттитрованных проб и регенерация серебра.

Тиосульфат натрия (устаревшее название — гипосульфит) Na₂S₂O₃·5H₂O. Молекулярная масса 248,2, эквивалентная масса по J₂ 248,2. Для приготовления 0,1 н. раствора берут 25 г тиосульфата, растворяют в 1 л воды, содержащей 200 мг Na₂CO₃. Хранят в темноте или в склянке из темного стекла, обернутой в темную бумагу. Титр устанавливают по 0,1 н. K₂Cr₂O₇ или по его навескам.

Трилон Б — двузамещенная кислая на-

триевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты — C₁₀H₁₄O₈N₂Na₂·2H₂O — ЭДТАNa₂. Молекулярная масса 372,127, эквивалентная масса 186,12. 0,1 н. раствор содержит 18,6 г/л ЭДТ Na₂. Титр устанавливают по 0,1 н. MgSO₄ или по навескам металлического цинка или прокаленного оксида цинка квалификации ч.д.а. Работают с 0,1–0,01 н. раствором.

Азотно-кислая окисная ртуть Hg(NO₃)₂·0,5H₂O. Молекулярная масса 166,82. Для определения хлоридов готовят раствор, 1 мл которого эквивалентен 1 мг Cl[–].

Азотисто-кислый натрий NaNO₂. Молекулярная масса 69; раствор 0,15 г/л — 1 мл = 0,1 мг NO₂[–], используются в качестве исходного реагента при колориметрическом определении NO₂ по Гриссу для составления шкалы.

Азотно-кислый натрий NaNO₃. Молекулярная масса 85; раствор 0,1371 г/л — 1 мл = 0,1 мг NO₃[–]. В качестве исходного раствора при колориметрическом определении NO₃ для составления шкалы, NaNO₃ может быть заменен азотно-кислым калием.

Кремнекислый натрий — мета Na₂SiO₃. Молекулярная масса 122,064, эквивалентная масса 61,032. Этот реактив готовят, сплавляя 0,0789 г чистой SiO₂ с Na₂CO₃ в платиновом тигле. Сплав растворяют в 1 л дистиллята. 1 мл раствора содержит 0,1 мг SiO₃^{2–}. Реактив используется для колориметрического определения SiO₃^{2–}. Раствор хранят в полиэтиленовом флаконе.

Железоаммиачные квасцы NH₄Fe(SO₄)₂·12H₂O. Молекулярная масса 482,19. Растворяют 0,8639 г в 50,0 мл 1 н. H₂SO₄. Объем жидкости в мерной колбе доводят до 1 л дистиллированной водой. 1 мл эквивалентен 0,1 мг Fe.

Алюмокалиевые квасцы KAl(SO₄)₂·12H₂O. Молекулярная масса 474,29. Растворяют 0,1759 г KAl(SO₄)₂·12H₂O в подкисленной (HCl) дистиллированной воде, доводя объем в мерной колбе до 1 л. 1 мл раствора эквивалентен 0,01 мг Al³⁺.

Исходный раствор для определения цветности. 0,0875 г K₂Cr₂O₇ и 2,000 г. CoSO₄·7H₂O растворяют отдельно, смешивают, прибавляют 1 мл H₂SO₄ плотностью 1,84 и доводят до 1 л. Цветность раствора — 500° Pt—Co или Cr—Co шкалы. Разбавляют раствором II — 1 мл H₂SO₄ на 1 л воды.

Сульфомолибденовый реактив. 10 г молибдата аммония (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O растворяют в 100 мл дистиллированной воды. К этому раствору добавляют 300 мл разбавленной (1:1) серной кислоты. Применяют реактив для определения фосфатов. Хранят в темноте или в склянке темного стекла.

Соляно-молибденовый раствор. 30 г $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ растворяют в 200 мл HCl (1:1) и прибавляют 400 мл воды. Применяют для определения силикатов в отсутствие фосфатов колориметрически по желтому комплексу.

Аммиачная буферная смесь для трилонометрического определения жесткости с индикатором ХТС (хромтемно-синий). Растворяют в дистиллированной воде 20 г NH_4Cl , добавляют 100 мл 25 %-ного NH_3 и доводят объем дистиллятом до 1 л. Процентное содержание буферной смеси по NH_3 — 2 % и по NH_4Cl — 2 %.

Боратно-буферный раствор для трилонометрического определения жесткости с индикатором ХЧ — хромогенчерным (эриохромчерным Т). Отдельно готовят растворы I и II. I — 40 г буры $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ растворяют в 800 мл дистиллированной воды. II — 10 г х.ч. NaOH растворяют в 100 мл дистиллированной воды. Оба раствора смешивают и доводят объем смеси до 1 л.

Реактив Несслера для колориметрического определения NH_3 используют готовый квалификации ч.д.а или готовят следующим образом. К 10 г $\text{Hg} - \text{J}_2$ добавляют 10 мл H_2O и растирают в ступке, затем переносят в мерную колбу емкостью 100 мл, прибавляют туда 5 г KJ и 50 мл 30 %-ного раствора NaOH , после чего доводят объем до метки дистиллированной водой. Через 3—4 дня жидкость сливают с осадка и хранят ее в темноте или в склянке темного стекла.

Реактив Грисса сухой. 1 г α -нафтиламина, 10 г сульфаниловой кислоты и 90 г виннокаменной кислоты растирают в фарфоровой ступке. Хранят в темноте или в склянке темного стекла. Применяют по 0,1 г при определении NO_2^- . Можно пользоваться готовым реактивом Грисса квалификации «ч», растворяя 10 г сухого реактива в 100 мл дистиллированной воды.

Салициловый реактив для определения NO_3^- . 10 г салицилата натрия и 1 г салициловой кислоты растворяют в 1 л дистиллированной воды.

Сульфосалициловый реактив — для колориметрического определения Fe . 30 г сульфосалициловой кислоты $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_6\text{S}$ растворяют в 100 мл дистиллированной воды или готовят насыщенный раствор сульфосалицилата натрия $\text{C}_7\text{H}_5\text{O}_6\text{SNa} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Роданистый аммоний NH_4SCN — 25 г в 1 л дистиллированной воды.

Йодистый калий KJ · 10 %-ный раствор.

Едкий натр NaOH · 10 %-ный раствор (10 г в 100 мл раствора).

Щелочной раствор йодистого калия. В 100 мл дистиллированной воды растворяют

20 г KJ , 36 г NaOH квалификации х.ч и 0,05 г KJO_3 .

Раствор соли марганца. 45 г $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ или 55 г $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ растворяют в 100 мл дистиллированной воды и добавляют 1 мл H_2SO_4 с плотностью 1,84.

Соляная кислота HCl . 1:1 (смешивают равные объемы 37 %-ной HCl и дистиллированной воды).

Серная кислота 1:3 или 38 %-ный раствор H_2SO_4 . 1 объем H_2SO_4 плотностью 1,84 добавляют к 3 объемам дистиллированной воды.

Серная кислота 5,5 н. 150 мл H_2SO_4 плотностью 1,84 вливают тонкой струей в 850 мл дистиллированной воды.

Индикаторы. **Метиловый оранжевый** — метилоранж (МО). 0,1 г реактива растворяют в 100 мл дистиллированной воды. Переход окраски от розовой в кислой среде к желтой в нейтральной при $\text{pH} = 3,3 \div 4,4$.

Метиловый красный — метил-рот (мр). 0,1 г реактива растворяют в 100 мл этилового спирта. Переход окраски от розовой в кислой среде до слабо желтой в нейтральной при $\text{pH} = 4,2 \div 6,2$.

Фенол-рот (фр). 0,1 г реактива растворяют в 14,2 мл 0,02 н. NaOH и доводят объем дистиллированной водой до 250 мл. Переход окраски от желтой в кислой среде до красной в щелочной при $\text{pH} = 6,8 \div 8,4$.

Фенолфталеин (фф). 1 г реактива растворяют в 100 мл 50 %-ного этилового спирта. Переход окраски от бесцветной в нейтральной среде до малиново-красной в щелочной при $\text{pH} = 8,2 \div 10$.

Смешанный индикатор I для титрования щелочности по МО при электрическом освещении. 0,1 г метилоранжа и 0,75 г индигокармина растворяют в 100 мл дистиллированной воды. Переход окраски от фиолетовой к зеленой при $\text{pH} = 3,3 \div 4,4$.

Смешанный индикатор II. 0,125 г метилрота растворяют в 50 мл спирта и 0,085 метилена блау растворяют в 50 мл спирта, после чего оба эти раствора смешивают. Переход окраски от фиолетовой до зеленой при $\text{pH} = 4,2 \div 6,2$.

Крахмал. 1 г крахмала размешивают в 10—15 мл холодной воды и вливают полученную суспензию в 90 мл кипящей воды.

Кислотный хромтемно-синий (ХТС). 0,5 г реактива растворяют в 10 мл аммиачной буферной смеси с доведением объема спиртом до 100 мл. Переход окраски от розовато-сиреневой в жесткой воде до сине-сиреневой в мягкой воде.

Хромоген черный, эриохромчерный ЕТ-00. 0,5 г реактива растворяют в 10 мл аммиачной буферной смеси с доведением объема спиртом до 100 мл. Переход окраски при окончании

титрования жесткости от сиренево-красной до сине-голубой.

Мурексид — индикатор для трилонометрического определения Ca^{2+} . 0,1 г мурексида и 10 г K_2SO_4 тщательно растирают в ступке, хранят в сухом виде в закрытой склянке. Для титрования берут щепотку порошка ($\sim 0,1$ г), где содержится около 1 мг мурексида.

Хромово-кислый калий K_2CrO_4 . 10 %-ный водный раствор применяется при argentометрическом определении хлор-иона.

Сернистый натрий Na_2S . Молекулярная масса 78, эквивалентная масса 39. 1,5 – 2 %-ный раствор применяется при определении жесткости в присутствии ионов меди и цинка (Cu и Zn), а также для качественного определения ионов тяжелых металлов (Pb, Cu, Zn).

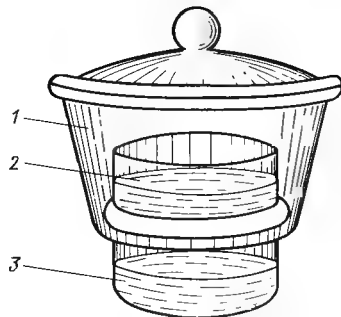


Рис. 3.22. Очистка HCl в эксикаторе:
1 - эксикатор; 2 — кристаллизатор с дистилля-
том; 3 — техническая соляная кислота, плотность
1,18 – 1,19

3.15. Выписка из сводных норм расхода этилового спирта (мл) на аналитическую работу на предприятиях Мосэнергo

Определение жесткости комплексонометрическим способом	0,4
Определение щелочности ацидиметрическим способом (по фенолфталеину)	0,2
Определение кислотности алкалиметрическим способом (по фенолфталеину)	0,2
Определение хлоридов с дифенилкарбазоном	0,2
Определение хлоридов в щелочных водах	0,5
Определение pH с индикаторами:	
метил-рот, бромкрезолпуруп	0,1
фенолфталеин, тимолфталеин	0,25
фенол-рот	0,05
с универсальным индикатором	0,2
Определение железа комплексонометрическим способом	0,4
Определение фосфатов	5
Определение кислорода индигокарминовым способом	0,3
Определение свободной углекислоты	1

3.16. Заменители лабораторных реактивов

Применение неочищенных технических реагентов дано в табл. 3.20.

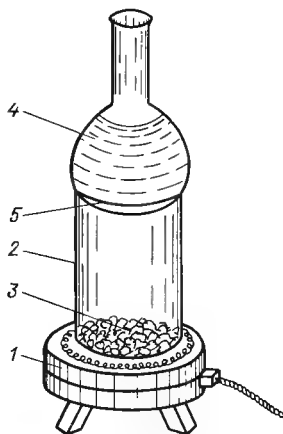


Рис. 3.23. Очистка йода возгонкой:
1 — электрическая плитка (песчаная баня); 2 — стакан химический, $d=100 \div 150$ мл; 3 — йод кристаллический; 4 — колба круглодонная с холодной водой; 5 — возгонный очищенный йод на наружном дне колбы

Т а б л и ц а 3.20. Заменители лабораторных реактивов

Наименование реагента, ГОСТ, вид очистки	Операции или анализы, для которых пригодны неочищенные или очищенные реагенты
Серная кислота H_2SO_4 техническая, контактная, улучшенная, ГОСТ 2184—77, аккумуляторная ГОСТ 667 73, без очистки	Титрованные растворы для определения щелочности, Cl^- и анализа щелочных реагентов

Наименование реагента, ГОСТ, вид очистки	Операции или анализы, для которых пригодны неочищенные или очищенные реагенты
Обесцвечивание при помощи H_2O_2 и осаждение основной массы Pb разбавлением дистиллятом	То же и, кроме того, для определения Ca^{2+} , а аккумуляторная кислота после контрольного опыта пригодна еще и для определения тяжелых металлов и Al^{3+}
Очистка от NO_2^- нагреванием и от восстановителей при помощи KMnO_4	Кроме перечисленных еще и окисляемость
Соляная кислота HCl техническая, ГОСТ 1382—69, синтетическая, ГОСТ 857—69, без очистки	Титрованные растворы для определения щелочности, PO_4^{3-} , анализа щелочных реагентов. При отсутствии SiO_3^{2-} , SO_4^{2-} , SO_3^{2-} синтетическая кислота пригодна для определения этих ингредиентов, если в фильтрате не определяются Fe и Al
Очистка путем выделения As, Se, Te, Cl_2 при помощи металлической меди, перегонки и поглощения HCl дистиллятом	По качеству кислота близка к реактивной и пригодна во всех случаях, но при определении кислорода йодометрическим способом должна быть проверена на отсутствие окислителей и восстановителей
Очистка путем поглощения HCl дистиллятом в эксикаторе (рис. 3.22)	По чистоте кислота равноценна реактивной, но концентрация в 2—3 раза меньше
Азотная кислота HNO_3 техническая, без очистки	При отсутствии Fe пригодна для окисления Fe^{2+} в Fe^{3+} . При отсутствии Cl пригодна для определения Cl^- аргентометрическим и нефелометрическим способом
Очистка кипячением и перегонкой	По качеству кислота близка к реактивной. Пригодна во всех случаях анализа воды
Едкий натр NaOH технический, ГОСТ 2263—71. Очистка от Na_2CO_3 путем приготовления насыщенного 50%-ного водного раствора и отстаивания	Титрованные растворы для определения кислотности
Сода кальцинированная Na_2CO_3 и $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ техническая, ГОСТ 5100 73. Очистка путем перекристаллизации в виде $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ из 30—35%-ного раствора при 10—15 °С. При необходимости прокаливание и перекристаллизацию можно повторять	После перекристаллизации по качеству близка к реактивной и пригодна во всех случаях анализа воды
Вода аммиачная NH_3 или NH_4OH без очистки	При отсутствии Fe и если в воде не определяют Ca^{2+} и Mg^{2+} пригодна для определения R_2O_3 осаждением. При отсутствии Ca и Mg пригодна для приготовления буферного аммиачного раствора
Очистка перегонкой и поглощением NH_3 дистиллятом	Пригодна во всех случаях, но концентрация в 2—3 раза ниже исходной (≈ 7 —8 %)
Йод J, очищается возгонкой (рис. 3.23)	Пригоден в качестве реактивного во всех случаях
Бура $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ Хромпик $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ Хлористый натрий NaCl Квасцы алюмокалиевые $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ Квасцы железоаммиачные $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	После одно-трехкратной перекристаллизации реагенты по своей чистоте близки к реактивным и пригодны во всех случаях анализа воды

Наименование реагента, ГОСТ, вид очистки	Операции или анализы, для которых пригодны неочищенные или очищенные реагенты
Дистиллированная вода, конденсат перегретого пара и обессоленная вода	После кипячения и контроля на отсутствие Ж, Щ, Fe, Cu практически пригодна для приготовления и разбавления всех аналитических растворов, растворения и промывки осадков
Конденсат насыщенного пара	После ионитного обессоливания пригоден для тех же целей
Вода умягченная Na-катионитом и профильтрованная через бумажный беззольный фильтр	Пригодна для приготовления титрованных растворов H_2SO_4 , HCl , $NaOH$, NH_3 , буферных аммиачных растворов и в случаях, когда наличие в растворяющей или разбавляющей воде небольших количеств Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} и SiO_3^{2-} не может вызвать ошибку более $\pm 1 \%$
Вода неумягченная, профильтрованная через бумажный беззольный фильтр	Пригодна в случаях, когда присутствие Na^+ , Ca^{2+} , Mg , Fe и др. не может привести к ошибкам более $\pm 2 \%$

*Приложение 1. Некоторые химические соединения
для обработки воды и химконтроля*

Таблица П.1. Некоторые химические соединения, применяемые при обработке воды и химическом контроле (соединения сгруппированы по катионам Al, NH₃, N₂H₄, Fe)

Формула	Наименование	Масса молекулярная	Плотность, г/см ³
Al	Алюминий	26,882	2,7
Al ₂ O ₃	Оксид алюминия	101,96	3,85
Al(OH) ₃	Гидроксид алюминия	78,00	2,423
Al ₂ (SO ₄) ₃	Сульфат алюминия безводный	342,15	2,71
Al ₂ (SO ₄) ₃ ·18H ₂ O	То же водный	666,42	1,62
KAl(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O	Квасцы алюмокалиевые	474,39	—
AlCl ₃	Хлорид алюминия	133,34	—
NaAlO ₂	Алюминат натрия	81,97	—
Al ₂ (OH) ₅ Cl	Пентаоксихлорид алюминия	174,4	—
NH ₃	Аммиак	17,03	ж.—0,636
NH ₄ OH	Гидроксид аммония	35,046	—
(NH ₄) ₂ S ₂ O ₈	Персульфат аммония (пероксо- дисульфат аммония)	228,20	—
NH ₄ NO ₃	Нитрат аммония	80,0435	—
(NH ₄) ₂ SO ₄	Сульфат аммония	132,139	—
NH ₄ Cl	Хлорид аммония	53,432	—
C ₆ H ₅ O ₇ (NH ₄) ₃ ·3H ₂ O	Цитрат аммония	243,0	—
N ₂ H ₄	Гидразин	32,0453	—
N ₂ H ₄ ·H ₂ O(N ₂ H ₆ O)	Гидразингидрат	50,06	—
N ₂ H ₄ ·H ₂ SO ₄ (N ₂ H ₆ SO ₄)	Сульфат гидразина	180,123	—
N ₂ H ₄ ·HCl·(N ₂ H ₅ ·Cl)	Хлорид гидразина	68,51	—
Fe	Железо	55,847	7,85
Fe ²⁺	Ион закисного железа II	27,8225	—
Fe ³⁺	Ион окисного железа III	18,616	—
FeO	Оксид железа (II)	71,85	5,7
FeO·Fe ₂ O ₃	Оксид железа II+III (магнетит)	231,54	5,16
Fe ₂ O ₃	Оксид железа III (гематит)	159,69	5,1 -5,2
Fe(OH) ₃	Гидроксид железа	106,87	—
FeSO ₄	Сульфат железа II (закисное сернокислородное железо безводное)	151,91	—
FeSO ₄ ·7H ₂ O	То же водное (железный купорос)	278,02	1,8 -1,98
Fe ₂ (SO ₄) ₃	Сульфат железа III (серно-кис- лородное окисное железо безводное)	399,88	3,1
FeCl ₃	Хлорид железа III безводный	162,21	2,8
FeCl ₃ ·6H ₂ O	То же водный	270,30	—
K	Калий	39,098	0,862
KNO ₃	Нитрат калия	101,1	—
K ₂ Cr ₂ O ₇	Дихромат (бихромат) калия	294,18	—

Т а б л и ц а 3.17. Примерная оценка состояния отдельных элементов паровых котлов по коррозии и межкристаллитным повреждениям

Оценка состояния	Стальные экономайзеры	Паровой котел, барабан, испарительная поверхность	Пароперегреватель
Отличное	Отсутствие язв во входной части	Отсутствие язв в барабанах, сухопарниках и трубах, межкристаллитных трещин, течей и солевых наростов снаружи котла	Отсутствие язв и черного налета во выходной части
Хорошее	Затянувшиеся сухим налетом язвы прекратившейся коррозии глубиной не более 0,5 мм	Язвы прекратившейся коррозии глубиной до 1-2 мм, отсутствие межкристаллитных трещин, течей и наружных солевых наростов	Отсутствие черного налета во выходной части, язвы прекратившейся коррозии
Удовлетворительное	Отдельные свежие язвы стояночного происхождения числом 1—2 шт. на 100 см ² внутренней поверхности входного коллектора и в устьях труб при глубине их не более 0,2-0,3 мм	Отдельные свежие язвы стояночного происхождения только в барабане, сухопарнике или в устьях труб при числе их до 1 на 100 см ² и глубине до 0,5-0,7 мм, отсутствие трещин, течей и наружных солевых наростов	Тонкий черный налет, отдельные язвы стояночного происхождения и только в коллекторах насыщенного и перегретого пара при числе их не более 1 шт. на 100 см ²
Плохое	Свежие язвы на внутренней поверхности коллектора и в устьях труб числом до 20 на 100 см ² , глубиной до 1 мм	Свежие язвы числом до 5 на 100 см ² при глубине до 2 мм, наличие наростов солей на наружной поверхности нагрева, возле заклепочных и вальцовочных соединений, отсутствие межкристаллитных трещин	Черные отложения в выходной части толщиной до 0,2 мм, отдельные свежие язвы в коллекторах при числе их до 5 шт. на 100 см ² и глубине до 1 мм
Аварийное	Свежие язвы с черной жидкостью под бугорками, начинающие сливаться в сплошную корку	Отдельные язвы при числе их более 5 на 100 см ² глубиной более 2 мм, наличие межкристаллитных трещин	Черные отложения в выходной части толщиной более 0,2 мм, свежие язвы при числе более 5 шт. на 100 см ² , глубиной более 1 мм, наличие трещин, свищей, отдулин, разрывов

Т а б л и ц а 3.18. Оценка интенсивности коррозии паровых котлов среднего давления

Характеристика коррозионного процесса	Скорость язвенной коррозии, мм/год	Скорость равномерной коррозии, мм/год	Содержание железа Fe в питательной воде в результате коррозии тракта питательной воды, мг/л	Наличие коррозионных межкристаллитных трещин в соединениях элементов
Коррозия практически отсутствует	0-0,05	0-0,02	0-0,02	Отсутствуют
Слабая коррозия	0,05-0,1	0,02-0,04	0,02-0,03	»
Допустимая коррозия	0,1-0,15	0,04-0,05	0,03-0,07	»
Сильная коррозия	0,15-0,6	0,05-0,2	0,07-0,2	Обнаруживаются
Аварийная коррозия	Более 0,6	Более 0,2	Более 0,2	»

Формула	Наименование	Масса молекулярная	Плотность, г/см ³
MgSiO ₃	Силикат магния - кремнекис- лый магний мета-	100,396	3,16
Mg ₂ SiO ₄	То же орто-	140,708	3,21
3MgO · 2SiO ₂	Силикат магния	241,14	—
Mg ₆ Si ₄ O ₁₀ · (OH) ₂	» серпентин	452,0	—
Mg ₃ (PO ₄) ₂	Фосфат магния	262,95	—
Cu	Медь	63,55	8,96
CuSO ₄	Сульфат меди безводный	159,6	—
CuSO ₄ · 5H ₂ O	То же водный (медный купорос)	249,68	2,28
Na	Натрий	22,9898	0,97
Na ₂ O	Оксид натрия	61,9790	2,27
NaOH	Гидроксид натрия	39,9972	2,13
NaNO ₃	Нитрат натрия (натровая се- литра)	84,9947	—
NaNO ₂	Нитрит натрия	68,9953	—
Na ₂ CO ₃	Карбонат натрия (сода)	105,99	2,5
Na ₂ CO ₃ · 10H ₂ O	То же водный	286,142	1,5
NaHCO ₃	Бикарбонат натрия — гидрокар- бонат натрия (питьевая сода)	84,01	2,21
Na ₂ SiO ₃	Силикат натрия безводный	122,06	2,4
Na ₂ SiO ₃ · 9H ₂ O	То же водный	284,20	—
Na ₂ SO ₃	Сульфит натрия безводный	126,04	—
Na ₂ SO ₃ · 7H ₂ O	То же водный	252,149	156
Na ₂ SO ₄	Сульфат натрия безводный	142,04	2,67
Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O	То же водный (мирабилит)	322,19	1,46
NaHSO ₄	Гидросульфат натрия	120,06	2,74
NaH ₂ PO ₄	Дигидроортофосфат натрия - мононатрийфосфат безводный	119,98	—
NaH ₂ PO ₄ · 2H ₂ O	То же водный	156,01	2,07
Na ₂ HPO ₄	Гидроортофосфат натрия — ди- натрийфосфат безводный	141,96	—
Na ₂ HPO ₄ · 12H ₂ O	То же водный	358,14	1,58
Na ₃ PO ₄	Ортофосфат натрия — тринат- рийфосфат безводный	163,94	2,54
Na ₃ PO ₄ · 12H ₂ O	То же водный	380,12	1,64
NaPO ₃	Метафосфат натрия	101,96	2,48
(NaPO ₃) ₆	Гексаметафосфат натрия	611,64	2,48
Na ₅ P ₃ O ₁₀	Триполифосфат натрия	368,0	—
NaCl	Хлорид натрия	58,44	2,17
NaClO	Гипохлорид натрия	74,444	—

1. 2. Свойства растворов некоторых химических соединений.
(концентрация, нормальность, значения pH)

Таблица П.2.1. Качество растворов соляной кислоты и едкого натра

Нормальность	HCl, мг/л	pH	Нормальность	NaOH, мг/л	pH
1,0	36450	0,1	0,000001	0,04	8
0,1	3645	1,1	0,00001	0,4	9
0,01	364,5	2,0	0,0001	4,0	10
0,001	36,45	3,0	0,001	40,0	11
0,0001	3,645	4,0	0,01	400,0	12
0,00001	0,3645	5,0	0,1	4000,0	13
0,000001	0,03645	6,0	1,0	40000,0	14

Таблица П.2.2. Значение рН сильно разбавленных растворов NaOH при 25 °С

NaOH, мг/л	рН	NaOH, мг/л	рН	NaOH, мг/л	рН
0,001	7,052	0,06	8,3	0,15	8,7
0,01	7,452	0,07	8,35	0,2	8,8
0,02	7,712	0,08	8,4	0,3	9,0
0,03	7,879	0,09	8,45	0,4	9,1
0,04	8,00	0,1	8,395	0,5	9,2
0,05	8,096				

Таблица П.2.3. Значение рН разбавленных растворов щелочных реагентов при 23 °С

Концентрация, мг/л	NaOH	Na ₂ CO ₃	NH ₃	Na ₃ PO ₄	Na ₃ PO ₄ ·10H ₂ O
0,5	9,2	—	—	7,00	7,00
0,6	9,3	—	—	7,10	7,00
0,7	9,35	—	—	7,15	7,00
0,8	9,4	—	—	7,20	7,00
0,9	9,45	—	—	7,25	7,00
1,0	9,5	—	—	7,3	7,00
1,5	9,7	—	—	7,6	7,35
2	9,8	9,6	8,5	7,9	7,7
3	10,0	9,8	8,65	7,95	7,75
5	10,3	10,0	9,1	8,0	7,8
10	10,5	10,3	9,6	8,25	8,0
20	10,8	10,6	10,1	8,65	8,2
30	11,0	10,8	10,25	8,9	8,4
40	11,1	10,9	10,45	9,1	8,6
50	11,2	11,0	10,47	9,2	8,8
60	11,3	11,05	10,48	9,3	8,9
70	11,37	11,10	10,49	9,35	9,0
80	11,45	11,15	10,5	9,4	9,1
90	11,48	11,18	10,5	9,45	9,15
100	11,50	11,2	10,51	9,5	9,2
125	11,6	11,22	10,57	9,6	9,3
150	11,7	11,24	10,6	9,7	9,4
175	11,75	11,27	10,62	9,8	9,45
200	11,8	11,3	10,65	9,9	9,5
250	11,9	11,35	10,70	10,05	9,6
300	12,0	11,45	10,75	10,15	9,7
400	12,1	11,60	10,90	10,25	9,9

Таблица П.2.4. Значение рН растворов углекислоты при 23 °С

CO ₂ , мг/л	рН	CO ₂ , мг/л	рН	CO ₂ , мг/л	рН
690	4,16	9,0	5,1	2,4	5,39
315	4,31	6,1	5,19	2,2	5,41
178	4,36	4,4	5,26	1,0	5,55
90	4,61	3,6	5,31	0,5	5,69
55	4,71	3,0	5,34	0,1	6,09
24	4,85	2,8	5,35	0,0	7,00
16,0	4,98	2,6	5,37		

Таблица П.3. Растворимость, мг/л, в воде составных частей воздуха при различных температурах и давлении 760 мм рт. ст.

Температура, °C	Чистые газы		Воздух (N ₂ + O ₂ + Ar + CO ₂)	Составные части воздуха, растворенного в воде		
	O ₂	CO ₂		O ₂	N ₂	CO ₂
0	69,7	3380	28,64	14,55	23,05	1,0
10	54,3	2360	22,37	11,25	18,1	0,7
20	44,3	1730	18,26	9,08	14,9	0,5
30	37,3	1315	15,59	7,5	12,95	0,4
35	—	—	14,2	7,0	—	0,37
40	33,0	1048	13,15	6,4	10,8	0,30
45	—	—	12,2	6,0	—	0,27
50	29,9	860	11,4	5,5	9,45	0,24
55	—	—	10,6	5,0	—	0,22
60	27,9	708	9,8	4,7	8,12	0,19
65	—	—	—	4,1	—	0,17
70	25,2	—	—	3,7	—	0,14
75	—	—	—	3,3	—	0,11
80	24,3	—	6,0	2,8	5,0	0,1
85	—	—	—	2,2	—	—
90	—	—	—	1,5	—	—
95	—	—	—	0,7	—	—
96	—	—	—	0,56	—	—
97	—	—	—	0,42	—	—
98	—	—	—	0,28	—	—
99	—	—	—	0,14	—	—
100	0	0	0	0	0	0

Состав атмосферного воздуха, %:

	по объему	по массе
N ₂	78,09	75,5
O ₂	20,95	23,1
Ar	0,932	1,286
CO ₂	0,030	0,046

Плотность атмосферного воздуха 1,293 г/л ($t=0^{\circ}\text{C}$; $p=760$ мм рт. ст.)

Состав воздуха, выдыхаемого человеком, %:

O ₂	15
CO ₂	4
N ₂ , Ar, H ₂ O	Остальное

Приложение 4. Растворимость в воде реагентов для обработки воды

Таблица П.4. Растворимость некоторых реагентов, применяемых при обработке воды, в зависимости от температуры

Формула безводного вещества	Число молекул воды при кристаллизации	Растворимость безводного вещества, г/100 г воды, при температурах, °C										Плотность раствора, насыщенного при 15°C
		0	10	15	20	30	40	50	60	80	100	
Al ₂ (SO ₄) ₃	18	31,3	33,5	34,6	36,2	40,4	45,7	52,2	59,2	73,2	89,0	1,264
FeCl ₃	6	74,4	81,8	87,0	91,9	106,4	—	315,2	—	526	536,9	1,508
FeSO ₄	7	15,8	20,8	24,2	26,3	32,8	40,1	48,4	—	43,7	—	1,208
NaHCO ₃	0	6,9	8,2	8,9	9,6	11,1	12,7	14,5	16,4	20,2	24,3	—

Формула безводного вещества	Число молекул воды при кристаллизации	Растворимость безводного вещества, г/100 г воды, при температурах, °С										Плотность раствора, насыщенного при 15° С
		0	10	15	20	30	40	50	60	80	100	
Na ₂ CO ₃	10	7,0	12,2	16,0	21,8	39,7	48,8	47,3	46,4	45,1	44,7	1,148
NaOH	5; 3,5; 1; 0	41,8	50,8	63,5	108,7	118,0	129,0	146	177	314	337	1,423
Na ₃ PO ₄	12	1,5	4,1	7,5	11	20	31	43	55	81	108	—
NaCl	0	35,7	35,8	35,85	35,9	36,1	36,4	36,8	37,2	38,1	39,4	1,203
HCl	—	82,3	—	—	—	67,3	63,3	59,6	56,1	—	—	—
NH ₃	—	87,5	67,9	—	52,6	40,3	30,7	22,9	—	—	—	—
Ca(OH) ₂	—	0,176	0,170	—	0,160	0,148	0,137	0,127	0,114	0,092	0,072	—
CO ₂	—	0,3347	0,232	0,197	0,169	0,126	0,0974	0,0762	0,0577	—	—	—
H ₂ SO ₄	—	Смешивается во всех соотношениях										—

ожение лотность раст оров х мических с э. не .

Т а б л и ц а П.5.1. Плотность растворов кислот, применяемых при обработке воды при 20 °С, г/мл

Содержание безводного вещества, % по весу (г/100 г)	H ₂ SO ₄	HCl	Содержание безводного вещества, % по весу (г/100 г)	H ₂ SO ₄	HCl
1	1,0050	1,0030	54	1,4350	—
2	1,0120	1,0080	58	1,4770	—
3	1,0185	1,0130	60	1,4980	—
4	1,0250	1,0180	62	1,5200	—
5	1,0315	1,0230	64	1,5420	—
6	1,0380	1,0280	66	1,5650	—
7	1,0450	1,0330	68	1,5870	—
8	1,0520	1,0380	70	1,6110	—
9	1,0590	1,0425	72	1,6340	—
10	1,0660	1,0470	74	1,6570	—
12	1,0800	1,0570	76	1,6810	—
14	1,0950	1,0680	78	1,7040	—
16	1,1090	1,0780	80	1,7270	—
18	1,1240	1,0880	82	1,7490	—
20	1,1390	1,0980	86	1,7870	—
22	1,1550	1,1080	90	1,8140	—
24	1,1700	1,1190	91	1,8190	—
26	1,1860	1,1290	92	1,8240	—
28	1,2020	1,1390	93	1,8276	—
30	1,2190	1,1490	94	1,8312	—
34	1,2520	1,1690	95	1,8324	—
38	1,2860	1,1890	96	1,8355	—
40	1,3030	1,1980	97	1,8360	—
42	1,3210	—	98	1,8365	—
46	1,3570	—	99	1,8335	—
50	1,3950	—	100	1,8305	—

Т а б л и ц а П.5.2. Плотность растворов важнейших солей и щелочных реагентов, применяемых при обработке воды, г/мл

Содержание безводного вещества, % по массе	NH ₃ , 15 °С	NaOH, 20 °С	Na ₂ CO ₃ , 20 °С	Ca (OH) ₂ (молоко), 15—20 °С	NaCl, 20 °С	Al ₂ (SO ₄) ₃ , 19 °С	FeCl ₃ , 20° С	FeSO ₄ , 18 °С	Na ₃ PO ₄ , 15 °С	NaHSO ₃ , 18 °С
1	0,995	1,0100	1,0686	1,0085	1,0053	1,009	1,007	1,0085	1,0087	1,0059
2	0,9905	1,0210	1,0190	1,0170	1,0125	1,018	1,015	1,018	1,0194	1,0132
3	—	—	—	—	1,0196	1,0295	—	1,028	1,0299	1,0206
4	0,9835	1,0430	1,0398	1,0335	1,0268	1,0400	1,032	1,0375	1,0405	1,0280
5	—	—	1,0502	—	1,0340	1,050	—	1,0475	1,0515	1,0354
6	0,9760	1,065	1,0606	1,0500	1,0413	1,061	1,049	1,0575	1,0624	1,0429
7	—	1,076	1,0711	—	1,0486	1,072	—	1,068	1,0737	1,0505
8	0,9675	1,087	1,0816	1,0685	1,0559	1,083	1,067	1,0785	1,0850	1,0581
9	—	—	1,0922	—	1,0633	1,094	—	1,0900	1,0962	—
10	0,9600	1,1090	1,1029	1,0870	1,0707	1,105	1,085	1,1000	1,1083	—
12	0,9525	1,1310	1,1244	1,1050	1,0857	1,129	1,104	1,1220	—	—
14	0,9470	1,1530	1,1463	1,1240	1,1009	1,152	1,123	1,1445	—	—
16	0,9390	1,1750	1,1636	1,1440	1,1162	1,176	1,142	1,1675	—	—
18	0,9320	1,1970	1,1859	1,1640	1,1319	1,201	1,162	1,2905	—	—
20	0,9250	1,2080	1,2086	1,1850	1,1478	1,226	1,182	1,2135	—	—
22	0,9200	1,2410	1,2317	1,2070	1,1639	1,252	—	—	—	—
24	0,9140	1,2630	1,2552	1,2310	1,1804	1,278	—	—	—	—
26	0,9080	1,2850	1,2790	1,2530	1,1972	1,306	—	—	—	—
28	0,9020	1,3050	1,3031	1,2740	—	1,333	1,268	—	—	—
30	0,8950	1,3280	1,3274	1,2950	—	—	1,292	—	—	—
32	0,8890	1,3490	—	—	—	—	—	—	—	—
34	0,8850	1,3700	—	—	—	—	—	—	—	—
36	0,8780	1,390	—	—	—	—	—	—	—	—
38	0,8740	1,410	—	—	—	—	—	—	—	—
40	—	1,430	—	—	—	—	—	—	—	—
42	—	1,4490	—	—	—	—	—	—	—	—
44	—	1,4690	—	—	—	—	—	—	—	—
46	—	1,4810	—	—	—	—	—	—	—	—
48	—	1,5070	—	—	—	—	—	—	—	—
50	—	1,5250	—	—	—	—	—	—	—	—

Т а б л и ц а П.5.3. Плотность растворов силиката натрия Na₂O·*m*SiO₂ в зависимости от модуля *m* при температуре 20 °С

Содержание безводного вещества, % по массе	<i>m</i> = 1	<i>m</i> = 1,69	<i>m</i> = 2,06	<i>m</i> = 2,40	<i>m</i> = 2,9	<i>m</i> = 3,36
1	1,0094	1,007	1,007	1,007	1,006*	1,006
2	1,0203	1,017	1,016	1,016	1,015*	1,014
3	1,031*	1,026*	1,025*	1,025*	1,023*	1,022*
4	1,0425	1,036	1,035	1,034	1,032*	1,030
5	1,0538*	1,046*	1,045*	1,043*	1,041*	1,040
6	1,0652	1,056	1,054	1,052	1,050*	1,047
7	1,0759*	1,066*	1,065*	1,062*	1,059*	1,056
8	1,0884	1,077	1,073	1,071	1,068*	1,065
9	1,1022	1,088*	1,083*	1,080	1,077*	1,074*
10	1,1122	1,098	1,093	1,090	1,087*	1,083
12	1,1365	1,119	1,113	1,110	1,096*	1,101*
14	1,1613	1,141	1,134	1,130	1,112*	1,120
16	1,1866	1,163*	1,155*	1,151	1,145*	1,139
18	1,2123	1,186	1,178	1,176*	1,165*	1,159
20	1,2386	1,210*	1,196*	1,198*	1,185*	1,180
22	1,2653	1,234*	1,223*	1,213*	1,205*	1,200
24	1,2926	1,259*	1,245*	1,235*	1,225*	1,222
26	1,3204	1,284	1,271	1,262*	1,253*	1,244
28	—	1,310*	1,296*	1,285*	1,275*	1,266

Содержание безводного вещества, % по массе	$m=1$	$m=1,69$	$m=2,06$	$m=2,40$	$m=2,9$	$m=3,36$
30	—	1,337*	1,321*	1,309	1,300*	1,290
32	—	1,360*	1,346*	1,334	1,325*	1,315
34	—	1,394	1,371	1,360	1,350*	1,330
36	—	1,426*	1,397*	1,387	—	1,365
38	—	1,456	1,423	1,415	—	1,393

* Интерполяция.

Содержание, % по массе	$m=1$	$m=1,69$	$m=2,06$	$m=2,4$	$m=2,9$	$m=3,36$
Na_2O	50,8	37,9	33,4	30,0	27,4	23,4
SiO_2	49,2	62,1	66,6	70,0	72,6	76,6

Таблица П.5.4. Плотность растворов этилового спирта (этанола)

Концентрация этанола $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, %		Плотность, г/см ³ при 15 °С	Концентрация этанола $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, %		Плотность, г/см ³ при 15 °С
по объему	по массе		по объему	по массе	
1	0,8	0,9976	60	52,2	0,9131
2	1,6	0,9962	70	62,4	0,8896
3	2,4	0,9947	75	67,9	0,8769
4	3,2	0,9933	80	73,6	0,8635
5	4,0	0,9920	82	75,9	0,8579
6	4,6	0,9906	84	78,2	0,8521
7	5,6	0,9894	86	80,7	0,8462
8	6,4	0,9882	88	83,1	0,8400
9	7,3	0,9870	90	85,7	0,8336
10	8,1	0,9858	91	87,0	0,8302
12	9,7	0,9835	92	88,3	0,8268
14	11,3	0,9813	93	89,7	0,8232
16	13,0	0,9792	94	91,0	0,8196
18	14,6	0,9771	95	92,4	0,8158
20	16,3	0,9752	96	93,9	0,8117
25	20,5	0,9702	97	95,3	0,8077
30	24,7	0,9647	98	96,8	0,8033
35	29,0	0,9558	99	98,4	0,7986
40	33,4	0,9512	100	100	0,7936
50	42,5	0,9339			

Таблица П.6. Температура замерзания водных растворов некоторых важнейших реагентов

Содержание безводного вещества, % по массе	Температура замерзания, °С	Содержание безводного вещества, % по массе	Температура замерзания, °С	Содержание безводного вещества, % по массе	Температура замерзания, °С
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$		FeCl_3		HCl	
8,1	1	15,2	—10	7,7	—10
14,3	—2	22,3	—20	NaCl	—0,9
23,9	—9,6	29,9	—40		
27,2	—12	33,1	—55		

Содержание безводного вещества, % по массе	Температура замерзания, °C	Содержание безводного вещества, % по массе	Температура замерзания, °C	Содержание безводного вещества, % по массе	Температура замерзания, °C
NaCl		NaOH		H ₂ SO ₄	
2,9	-1,8	33,7	+10	61	-27,15
4,3	-2,6	38,8	+15,0	62	-28,85
5,6	-3,5	44,5	+10	63	-30,8
7,0	-4,4	46,0	+4,5	64	-33,0
8,3	-5,4	47,6	+8,0	65	-35,3
9,6	-6,4	51,0	+12,3	66	-37,75
11,0	-7,5	52,1	+20	67	-40,3
12,2	-8,0			67—76	< 39
13,6	-9,6	H ₂ SO ₄		76	-28,1
14,9	-11,0	1	-0,2	77	-19,4
16,2	-12,2	4	-1,2	78	-13,6
17,5	-13,6	8	-3,7	79	-8,2
18,8	-15,1	10	-5,5	80	-3,0
20,0	-16,0	12	-7,6	81	+1,5
21,2	-18,2	14	-9,9	82	+4,8
22,4	-20,0	16	-12,6	83	+7,0
23,1	-21,2	18	-15,7	84	+8,0
23,3	-21,2	20	-19,0	84,5	+8,3
24,2	-15	22	-22,7	85	+7,9
24,9	-10	24	-26,7	86	+6,6
25,6	-5	26	-31,1	87	+4,1
NaOH		28	-35,9	88	+0,5
5,7	-5	30	-41,2	89	-4,3
9,9	-10	30—48	< 41	90	-10,2
15,8	-20	48	-38,5	91	-17,3
19,1	-28,2	50	-34,5	92	-25,6
20,4	-26	52	-30,9	93	-35,0
22,3	-24,4	54	-28,3	94,3	-37,8
24,0	-20	56	-25,9	94	-30,8
25,0	-17,8	57	-24,8	95	-21,8
26,5	-10	57,6	-24,4	96	-13,6
29,5	0	58	-24,5	97	-6,3
32,4	+6	59	-24,85	98	-0,1
		60	-25,8	99	+5,7
				100	+10,45

Приложение 7 Термодинамические свойства воды и водяного пара

Таблица П.7. Термодинамические свойства воды и водяного пара на линии насыщения

Температура, °C	Давление абсолютное			Разрежение (вакуум), %	Энтальпия, ккал/кг		Плотность, кг/м ³		Кратность плотностей вода/пар
	кгс/см ²	МПа	мм рт. ст.		воды	сухого насыщенного пара	воды	сухого насыщенного пара	
0	0,0062	0,00061	5,10	—	0,0	597,3	999,84	0,00485	206 000
10	0,0125	0,00120	10,9	< 99,5	10,0	601,7	999,7	0,00940	103 000
20	0,0238	0,00233	20,8	98,7	20,0	606,0	998,2	0,0173	57 800
30	0,0433	0,00425	37,8	96,5	30,0	610,0	995,64	0,0304	32 700

Температура, °C	Давление абсолютное			Разреже- ние (вакуум), %	Энтальпия, ккал/кг		Плотность, кг/м ³		Кратность плотностей вода пар
	кгс/см ²	МПа	мм рт. ст.		воды	сухого насыщен- ного пара	воды	сухого насыщен- ного пара	
35	0,0533	0,00562	46,4	95,4	35,0	613,0	994,03	0,0396	25 000
40	0,0752	0,00737	65,5	93,2	40,0	615,0	992,21	0,0512	19 600
45	0,0977	0,00958	84,2	91,4	45,0	617,0	990,21	0,0654	15 150
50	0,126	0,0124	110	88,7	50,0	619,0	988,04	0,0831	11 900
55	0,161	0,0158	140	83	55,0	621,0	985,70	0,104	9470
60	0,203	0,0199	177	79	60,0	623,0	983,21	0,130	7500
65	0,255	0,0250	222	74	65,0	625,0	980,56	0,161	6120
70	0,318	0,0312	275	69	70,0	627,0	977,78	0,198	4980
75	0,393	0,0385	342	59	75,0	629,0	974,86	0,242	4060
80	0,483	0,0474	420	50	80,0	631,0	971,80	0,293	3350
85	0,590	0,0579	514	40	85,0	633,0	968,62	0,354	2740
90	0,715	0,0701	623	29	90,0	635,0	965,31	0,424	2280
95	0,862	0,0845	710	15	95,1	637,0	961,89	0,505	1910
96	0,900	0,0880	720	11,5	96,1	637,4	961,19	0,520	1847
97	0,930	0,0910	730	8	97,1	637,8	960,50	0,540	1780
98	0,960	0,0940	740	5	98,1	638,2	959,80	0,560	1715
99	0,996	0,0975	750	3	99,1	638,6	959,10	0,580	1653
100	1,033	0,1013	760	0	100,1	639,0	958,35	0,598	1600
101	1,073	0,1053	788	—	101,1	639,4	957,30	0,618	1550
102	1,116	0,1095	820	—	102,1	639,8	956,50	0,635	1505
103	1,157	0,1130	850	—	103,1	640,2	955,4	0,658	1455
104	1,195	0,1173	878	—	104,1	640,6	954,4	0,680	1408
105	1,23	0,121	903	—	105,1	641	953,5	0,705	1350
110	1,46	0,143	1072	—	110,2	642	951,0	0,826	1150
115	1,72	0,167	1263	—	115,3	645	947,0	0,965	980
120	2,03	0,199	1490	—	120,3	646	943,0	1,121	830
130	2,75	0,269	2020	—	130,5	650	935,3	1,50	625
140	3,69	0,362	2710	—	140,7	653	926,0	1,97	470
150	4,85	0,476	3560	—	151,0	656	917,3	2,55	360
160	6,30	0,618	4625	—	161,3	659	907,5	3,26	278
170	8,08	0,792	5093	—	171,8	661	897,3	4,12	218
180	10,2	1,00	7500	—	182,3	664	886,6	5,16	172
190	12,8	1,26	9400	—	192,9	666	875	6,39	157
200	15,9	1,56	11 700	—	203,6	667	865	7,86	110
210	19,5	1,91	15 200	—	214,4	668	850	9,59	88,9
220	23,7	2,32	18 900	—	225,4	669	837	11,6	72,3
230	28,5	2,79	22 000	—	236,5	670	821	14,0	58,8
240	34,1	3,34	26 400	—	247,8	670	809	16,8	48,1
250	40,6	3,98	31 500	—	259,0	669	799	20,0	40,0
260	47,9	4,71	37 100	—	271,0	668	782	23,7	33,0
270	56,1	5,55	43 400	—	283,0	666	766	28,1	27,8
280	65,5	6,41	50 700	—	295	664	753	33,2	22,8
290	75,9	7,43	58 700	—	308	661	730	39,2	18,7
300	87,6	8,58	67 800	—	321	657	712	46,2	15,4
310	101,0	9,88	78 300	—	335	651	686	54,6	12,6
320	115,0	11,26	89 000	—	349	645	670	65,0	10,3
330	131,0	12,80	101 500	—	365	637	658	77,0	8,3
340	149,0	14,60	116 500	—	381	626	625	93,0	6,7
350	169,0	16,50	131 000	—	399	612	585	114	5,13
360	190	18,60	147 000	—	421	593	548	144	4,72
370	215	21,00	166 500	—	452	557	450	203	2,2
374	225,2	22,05	174 500	—	485	512	374	288	1,3

Примечания: 1. 1 кДж/кг = 239 ккал/кг и 1 ккал/кг = 0,00419 кДж/кг.

2. Теплота испарения r находится как разность энтальпий пара и воды при данной температуре.

3. 1 техническая атмосфера = 1 кгс/см² = 735,6 мм рт. ст. = 10 000 мм вод. ст. = 0,9678 атм. физической = 0,981 бар $\approx$ 0,1 МПа = 98,066 кПа.

4. 0 °C = +273,2 K; 100 °C = 373,2 K; 0,00 K = -273,2 °C.

5. Данные для $t = 96 \div 99$ и $101 \div 104$ °C интерполированы.

Т а б л и ц а П.8.1. Качество воды некоторых поверхностных водоисточников СССР, используемых в энергетике

Наименование водоисточника	Место отбора пробы	Взв	С. О.	М. О.	Перманганатная окисляемость	Щелочность общая (по М. О.) Щ
		мг/л			мг О/л	
А. Реки						
Амударья	Гаурдак	—	528	—	—	2,4
»	Керки	4970	—	657,2	—	3,12
Амур	Хабаровск	16	93	—	—	0,5
Ангара	Ангарск	96	99	—	2,8 6,7*	1,5
Белая	Уфа	—	800	—	—	5,8
Волга	Калинин	3 (44)	274	257	4,64	3,3
»	Ярославль	13	168	141,8	14,24	1,9
»	Конаково	—	135	—	11,3	2,2
»	Волгореченск	—	152	—	10,4	1,8
»	п. Кстово	5	301	—	—	3,0
»	Казань	10	360	331,8	11,2	2,3
»	Куйбышев	—	372	—	8,16	2,45
»	Саратов	—	350	342	3,7	2,4
Вологда	Вологда	8	708	—	15,2	7,1
Волхов	Новгород	—	—	105	25,3	1,2
»	Кириши	—	130	—	24,0	1,2
Вятка	Кирово-Чепецк	—	233	—	—	3,8
Двина Западная	Даугавпилс	50	—	116,8	12,5	3,0
Двина Северная	Архангельск	—	—	349	8,5	4,34
Десна	Чернигов	14,0	—	228	5,3	4,1
Днепр	Днепропетровск	—	410	—	15,0	3,9
»	»	—	250	—	7,4	2,3
»	Запорожье	—	270	—	8,9	2,5
»	»	—	315	223	10,24	3,08
»	Киев	—	250	—	12	3,0
Дон	Задонск	—	—	—	5,8	4,81
»	Ростов	2,8	992	—	3,5	3,8
Северский Донец	Лисичанск	—	—	301,5	—	3,2
Енисей	Красноярск	3	154	141,3	0,6—6,4	2,3
Ингулец	Кривой Рог	—	600	—	8,6	2,9
Исеть	Свердловск	—	110	—	17,5	0,7
Иртыш	Омск	172	344	235	14,8	2,7
Кама	Березники	5	345	—	—	1,4
»	»	155	1098	903	17,8	2,2
Кальмиус	Донбасс	—	3876	3440	—	6,6
Клязьма	Владимир	8	342	—	8,96	2,6
Кубань	Армавир	—	299	224,5	—	2,4
Кура	Али-Байрамлы	300	884	—	5,52	3,8
Миасс	Челябинск	44	471	428	8,6	1,4
Миусс	Ворошиловград-ская обл.	550	—	1520	3,21	3,9
р. Москва	ТЭЦ № 12	—	—	222	8,3	3,3
г. Москва (водо-провод)	ТЭЦ № 11	—	178	143,7	8,2	2,15
р. Москва	г. Москва	—	144	—	—	1,5
Нева (Ладожское озеро)	Новосаратовская	—	67,2	40,8	7,6	0,43

Наименование водоисточника	Жесткость, мг-экв/л		Содержание, мг/л				
	общая Ж _о	кальциевая Ж _{Ca}	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl	NO ₃ ⁻	SiO ₂ + SiO ₃
А. Реки							
Амударья	4,7	3,3	32,2	149	110,6	0,3	—
»	5,76	4,56	118,6	202,7	126,9	—	10
Амур	0,5	0,3	1,6	5,6	2,0	1,6	14
Ангара	1,5	1,1	9,2	10	5,3	—	0,68*
Белая	12,4	11,7	9,2	321,6	11,2	—	15,0
Волга	3,3	2,4	2,5	4,9	7,8	—	8,3
»	2,5	1,75	4,4	23,1	5,8	—	8,7
»	2,4	—	—	20	6	—	4,9
»	2,3	—	—	25	7	—	3,0
»	4,0	3,0	22,2	71,7	13	4,5	9,0
»	4,8	3,6	18,3	140,3	15,0	3	—
»	4,09	3,15	31,5	79,0	48,6	—	—
»	4,2	3,1	38,2	120	34,0	5,5	—
Вологда	8,1	4,6	69	125,5	89,2	—	—
Волхов	1,47	1,18	6,2	6,7	14,0	0,3	17,3
»	1,6	—	—	20,0	16	—	3,0
Вятка	3,1	2,03	278	16,8	6,0	—	11,0
Двина Западная	3,2	2,13	3,96	12,6	3,7	—	13,0
Двина Северная	6,48	5,1	6,9	93,2	7,1	—	10,2
Десна	4,29	3,43	6,1	15,0	4,9	—	—
Днепр	4,2	3,06	61,0	105,67	36,1	7,6	—
»	3,3	—	—	34,0	31,0	7,6	6,4
»	3,0	—	—	37	25	—	6,5
»	3,82	2,6	8,6	29,7	15,8	—	4,0
»	3,3	—	—	30	22	—	6,0
Дон	5,1	2,6	8,6	29,67	15,84	2,4	—
»	8,6	5,53	146	291	182	0,89	—
Северский Донец	4,8	4,2	10,75	48	38	—	22
Енисей	2,6	1,85	6,9	10,1	3,2	—	11,4
Ингулец	4,5	0,15	—	144	57	—	11,3
Исеть	1,2	—	1,2	1,2	6	—	1,0
Иртыш	2,8	1,40	36,1	41,5	19	2,8	9,7
Кама	3,6	3,18	43,7	14,8	125	—	10,2
»	5,2	4,5	302	500	440	—	9,7
Кальмиус	26,2	13,1	668	1650	411	—	22,2
Клязьма	3,2	2,35	34,7	52,7	21,7	—	16,6
Кубань	3,47	2,93	14,2	59,2	14,0	—	—
Кура	7,4	3,0	170	197	214	26,0	20,0
Миасс	4,7	2,8	43,7	214	19	—	6
Мнусс	12,3	4,8	262	855	71,0	—	4,0
р. Москва	4,3	3,0	—	13,5	25,5	—	10,0
г. Москва (водо- провод)	2,8	2,0	—	19,2	9,0	—	1,45
р. Москва	2,2	1,42	—	18,7	10,0	—	0,6
Нева (Ладожское озеро)	0,55	0,45	27	6,1	3,9	—	5,95

Наименование водисточника	Место отбора пробы	Взв	С. О.	М. О.	Перманганатная окисляемость	Щелочность общая (по М.О.) Щ _о
		мг/л			мг О/л	
А. Реки						
Нарва	Нарва	—	166	115,7	—	1,9
Неман	Каунас	18,0	—	231	5,0	4,21
Обь	Новосибирск	405	206	202	2,8	2,1
Ока	Рязань	144	480	—	—	5,15
»	Горький	62	438	353	13,6	4
Печора	Усть-Цильма	—	—	57,7	16,0	0,78
Случь	Солигорск	—	433	—	24,0	4,6
Томь	Кемерово	753	151	112,2	5,08	1,0
»	Новокузнецк	100	56	—	—	0,7
Тобол	Кустанай	18,0	—	1077,4	—	3,75
Торец казенный	Донбасс	—	1569	—	8,7	9,35
Увелька	Тронцк	—	590	—	10,2	3,8
Уводь	Иваново	—	276	—	128	2,9
Урал	Гурьев	34	770	—	5,2	3,8
»	»	845	280	—	—	2,0
Шексна	Череповец	15	288	—	—	2,0
»	»	13	110	—	—	1,0
Б. Водохранилища, пруды, озера						
Байкал (р. Ангара)	Иркутск	—	—	69,5	—	1,12
Балхаш западный	г. Балхаш	—	1775	1496	—	3,17
Исаковское	г. Коммунарск	—	1066	996	3,6	4,0
	Ворошиловград- ской обл.					
Карачуновское	г. Кривой Рог	—	694	—	—	2,6
Южное	» »	—	274	—	11,2	2,7
Крымское	» »	141	610	—	27,4	3,5
Луганское	пос. Мироновский	—	1464	1235	7,6	4,1
Нуринское	г. Темир-Тау	—	1017	992	7,3	4,4
Терновское	г. Курахово	—	3483	3385	4,5	3,5
	Донецкой обл.					
Шолларское	Баку	—	458	420,3	0,64	4,6
Верхне-Тагильское	Верхне-Тагильская ГРЭС	—	244,5	208,8	13,2	1,7
Нижне-Тагильское	ТЭЦ НТМК	40	171,4	140,1	9,92	0,6
Верхне-Исетское	г. Свердловск	—	80	40,2	—	0,4
Телецкое	Алтай	—	68	54,4	—	0,83
Новогрозненское	г. Грозный	14	604	511	3,92	3,8
Несвета ГРЭС	г. Красный Сулин	—	1380	1212	24	3,3
в/х Черепетской ГРЭС	г. Суворов	—	212	193,7	4,9	2,7
Сенделеевское водохран.	Ставрополь	32	364	—	1,6	2,1

Наименование водоисточника	Жесткость, мг-экв/л		Содержание, мг/л				
	общая Ж _о	кальциевая Ж _{Ca}	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SiO ₂ + SiO ₃ ²⁻
А. Реки							
Нарва	2,14	1,2	4,6	14,0	4,6	—	—
Неман	4,2	2,82	10,4	8,9	13,0	—	8,17
Обь	2,3	1,6	9,2	5,1	11,7	1,2	13,6
Ока	8,08	4,6	33,5	62	24	—	—
»	6	4,6	17,8	81	22	—	17,8
Печора	0,9	0,61	2,6	5,8	4,0	—	7,6
Случь	4,8	3,2	24,9	26,3	9,12	—	12,0
Томь	1,6	1,17	12,4	20,5	8,8	—	19,2
»	0,6	0,5	0,8	3,3	0,3	—	4,0
Тобол	8,22	4,65	243	294,6	300,7	—	—
Торец казенный	13,1	7,9	209	414	244	—	39,2
Увелька	6,1	0,02	150	—	74	—	6,0
Увось	3,5	2,55	18,3	34,1	22	—	2,6
Урал	6,2	5,41	110	107	170	—	9,1
»	2,7	2,4	48,0	58,6	56	—	—
Шексна	3,9	2,7	9,2	97,6	2	—	6,9
»	1,2	0,86	5,8	21,9	2	—	3,0
Б. Водохранилища, пруды, озера							
Байкал (р. Ангара)	1,43	1,065	0,35	6,4	35	—	—
Балхаш западный	10,7	1,93	331	572	345	—	10,1
Исаковское	9,5	5,5	154	488	67	6,0	2,1
Карачуновское	6,3	3,4	91	252	87	0,27	—
Южное	3,3	2,3	18,0	164,7	43,2	—	—
Крымское	5,5	2,5	113	186	116	—	1,6
Луганское	11,0	5,1	215	528	201	0,3	7,6
Нуринское	6,8	3,51	237	264	255	—	6,6
Терновское	26,1	12,0	668	1516	684	—	27
Шолларское	5,12	2,9	54	88	25	20,8	12
Верхне-Тагильское	3,08	2,22	8,98	71,3	10,0	—	11,3
Нижне-Тагильское	1,8	1,37	7,92	62,1	9,0	—	12,8
Верхне-Исетское	0,76	0,36	1,25	12,0	2,0	—	1,2
Телецкое	0,83	0,64	5,8	2,8	0,77	—	5,7
Новогрозненское	7,4	4,91	29,5	194	28	2,4	19,0
Несветай ГРЭС	8,35	4,2	246	646	8,2	—	5,64
в/х Черепетской ГРЭС	3,84	2,85	5,08	35,3	4,5	—	6,3
Сенделеевское водохрани.	3,75	2,4	36,8	122,4	24,2	—	—

Примечание. Условные обозначения: ВЗв — взвешенные вещества; С. О. — сухой остаток; М. О. — минеральный остаток; Щ_о — щелочность общая; Ж_о — жесткость общая; Ж_{Ca} — жесткость кальциевая

Приводимые в табл. П. 8.1 данные о качестве воды поверхностных источников являются лишь ориентировочными и при проектировании конкретных энергообъектов не могут применяться. Это связано с проходившими и проходящими в настоящее время изменениями их гидрологического и гидрохимического режима (сооружение водохранилищ, каналов, оросительных систем, увеличивающийся безвозвратный забор природной воды и увеличивающийся сброс промышленных, сельскохозяйственных, хозяйственных, обычно недостаточно очищенных сточных вод), сказывающихся на

качестве не только поверхностных, но, нередко, и подземных грунтовых вод.

При проектировании конкретных энергообъектов и их ВПУ необходимо пользоваться анализами воды намечаемых водосточников, выполненными за последние пять лет ежегодно: в конце зимы, перед началом таяния снега на открытых местностях; во время интенсивного таяния снега на открытых местностях, во время максимального подъема воды в водосточнике; в конце паводка, во время таяния снега в лесах, на болотах; летом в межень, наиболее теплый период во время «цветения» воды в реках и водохранилищах.

Т а б л и ц а П.8.2. Атмосферные осадки в европейской части СССР (дождь, снег, град)*, мг/л

Значение	Сумма ионов	NH_4^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Cl	NO_3	HCO_3^-
Минимальное	21,0		0,46	1,65	0,13	1,25	1,38	—	4,33
Среднее	40—50	0,7—1,0	2—3	5 7	1 2	10 15	3 4	0,8 —0,85	15 —25
Максимальное	93,0 200,0	—	18,0	15,3 25,0	6,0	36—44	9,79—36	—	30,5 —60,0

* В настоящее время загрязненность атмосферы, а следовательно, и атмосферных осадков (дождя, снега, града) значительно выше, особенно в районе городов и промышленных предприятий. В начале периода выпадения осадков загрязненность их выше, чем в конце.

Т а б л и ц а П.8.3. Качество океанской и морской вод

Показатель	Океан			Белое море ¹		
	%	г/л	мг-экв/л	%	г/л	мг-экв/л
Сумма ионов	100	35,6	—	100	29—32	493
Ж_0	—	—	128,5	—	—	170
$\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$	0,41	—	4,9	0,1	—	1,0
Na^+	30,61	10,9	467	30,7	—	425
K^+	1,1	0,39	10	0,9	—	7,4
Ca^{2+}	1,16	0,412	20,5	1,2	—	18
Mg^{2+}	3,69	1,31	108	5,75	—	152
Cl	55,04	19,6	547	55,3	—	493
SO_4^{2-}	7,68	2,74	56,2	7,9	—	53
NaCl	77,0	27,4	467	—	24,8	425
$\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{NaCl}$	—	—	600	—	—	550
Отношение (Na + K) : (Ca + Mg), мг-экв/мг-экв	—	—	3,67	—	—	2,71

Показатель	Балтийское море ²			Черное море ³		
	%	г/л	мг-экв/л	%	г/л	мг-экв/л
Сумма ионов	100	11,0	—	100	18,6	—
Жо	—	—	—	—	—	70,0
$\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$	0,1	—	—	0,5	—	—
Na^+	30,5	3,42	9,6	} 39,14	6,2	250
K^+	1,0	0,05	0,17		0,19	
Ca^{2+}	1,7	0,18	0,6		0,2	
Mg^{2+}	3,5	0,4	2,0	8,9	0,73	51,3
Cl^-	55	6,37	180	44,84	10	288
SO_4^{2-}	8,1	0,58	11,8	4,66	1,55	30
NaCl	—	—	—	—	—	—
$\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{NaCl}$	—	—	—	—	—	~ 320
Отношение (Na + K) : (Ca + Mg), мг-экв/мг-экв	—	—	3,77	—	—	3,58

Показатель	Азовское море ⁴			Каспийское море ⁵		
	%	г/л	мг-экв/л	%	г/л	мг-экв/л
Сумма ионов	100	10—12	—	100	13,17	—
Жо	—	—	80—100	—	—	81,4
$\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$	—	—	—	0,82	—	—
Na^+	—	—	—	24,85	3,0—3,2	135
K^+	—	—	—	0,65	0,1	2,15
Ca^{2+}	—	—	—	2,95	0,35—0,4	19,4
Mg^{2+}	—	—	—	5,78	0,7—0,8	6,2
Cl^-	—	—	—	43,2	5,0	162
SO_4^{2-}	—	—	—	22,48	3,2—3,5	61
NaCl	—	—	—	—	—	—
$\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{NaCl}$	—	—	—	—	—	220
Отношение (Na + K) : (Ca + Mg), мг-экв/мг-экв	—	—	—	—	—	1,7—2,2

¹ В Двинской и Онежской губах минерализованность ниже.² В заливах, особенно Финском, минерализованность ниже, но окисляемость выше.³ Данные для верхних слоев воды.⁴ В восточной части минерализованность ниже, в западной (Сиваш) выше.⁵ Данные для южной части моря, в северной части минерализованность меньше.

1. Общие положения

1.1. Назначение и область применения Правил

1.1.1. Настоящие Правила устанавливают требования к устройству, изготовлению, монтажу, ремонту¹ и эксплуатации паровых котлов, автономных пароперегревателей и экономайзеров с рабочим давлением² более 0,07 МПа (0,7 кгс/см²) водогрейных котлов и автономных экономайзеров с температурой воды выше 115 °С.

1.1.2. Настоящие Правила распространяются на:

- а) паровые котлы, в том числе котлы-бойлеры, а также автономные пароперегреватели и экономайзеры;
- б) водогрейные и пароводогрейные котлы;
- в) энерготехнологические котлы: паровые и водогрейные, в том числе содорегенерационные котлы (СРК);
- г) котлы-утилизаторы: паровые и водогрейные;
- д) котлы передвижных и транспортабельных установок и энергопоездов;
- е) котлы паровые и жидкостные, работающие с высокотемпературными органическими теплоносителями (ВОТ);
- ж) трубопроводы пара и горячей воды в пределах котла.

1.1.3. Настоящие Правила не распространяются на:

- а) котлы, автономные пароперегреватели и экономайзеры, устанавливаемые на морских и речных судах и других плавучих средствах и объектах подводного применения;
- б) котлы и пароперегреватели паровозов/и отопительные котлы

железнодорожного подвижного состава;

- в) котлы с электрическим обогревом;
- г) котлы с объемом парового и водяного пространства 0,001 м³ (10 л) и менее, у которых произведения рабочего давления в МПа (кгс/см²) на объем в м³ (л) не превышает 0,02 (200);
- д) на теплоэнергетическое оборудование, изготовленное в соответствии с Правилами устройства и безопасной эксплуатации оборудования атомных электростанций.

1.2. Ответственность за выполнение Правил

1.2.1. Настоящие Правила обязательны для исполнения всеми должностными лицами, инженерно-техническими работниками, занятыми проектированием, изготовлением, монтажом, ремонтом и эксплуатацией котлов, автономных пароперегревателей, экономайзеров и трубопроводов в пределах котла.

Дополнения

На стальные паровые и водогрейные котлы давлением менее 0,07 МПа (0,7 кгс/см²), а также на чугунные, секционные водогрейные и паровые котлы давлением по воде до 0,35 МПа (3,5 кгс/см²) при температуре воды не выше 115 °С распространяются «Правила устройства и безопасной эксплуатации водогрейных котлов, водоподогревателей и паровых котлов с избыточным давлением» (менее 0,07 МПа). МЖКХ РСФСР — Оргкоммуноэнерго: М. Стройиздат, 1979.

На системы (установки, агрегаты) испарительного охлаждения, являющиеся неотъемлемыми элементами промышленных тепловых агрегатов (металлургических печей и т. п.), на которые распространяются ведомственные правила, настоящие Правила Госгортехнадзора (1989 г.) не распространяются, если это не оговорено в ведомственных правилах.

8. Водно-химический режим котлов

8.1. Общие требования

8.1.1. Водно-химический режим должен обеспечивать работу котла и питательного тракта без повреждения их элементов вследствие отложений накипи и шлама, повышения относительной щелочности котловой воды до

* Нумерация пунктов и параграфов дается согласно Правилам.

¹ Требования к монтажу и ремонту аналогичны требованиям к изготовлению.

² Здесь и далее по тексту указывается избыточное давление. В связи с введением Международной системы единиц физических величин СИ прилагается таблица соотношений между этими единицами и единицами, принятыми в настоящих Правилах (см. приложение 6 к Правилам).

опасных пределов или в результате коррозии металла.

Все паровые котлы с естественной и многократной принудительной циркуляцией паропроизводительностью 0,7 т/ч и более, все паровые прямоточные котлы независимо от паропроизводительности, а также все водогрейные котлы должны быть оборудованы установками для докотловой обработки воды. Допускается также применение других, эффективных способов обработки воды, гарантирующих выполнение требований настоящей статьи.

8.1.2. Выбор способа обработки воды для питания котлов должен производиться проектной организацией.

8.1.3. У котлов паропроизводительностью менее 0,7 т/ч период между чистками должен быть таким, чтобы толщина отложений на наиболее теплонепрозрачных участках поверхности нагрева котла к моменту его остановки на чистку не превышала 0,5 мм.

8.1.4. Подпитка сырой водой котлов, оборудованных устройствами для докотловой обработки воды, не допускается.

В тех случаях, когда проектом предусматривается в аварийных ситуациях подпитка котла сырой воды, на линиях сырой воды, присоединенных к линиям смягченной добавочной воды или конденсата, а также к питательным бакам должны устанавливаться по два запорных органа и контрольный кран между ними. Во время нормальной эксплуатации запорные органы должны находиться в закрытом положении и быть опломбированы, а контрольный кран должен быть открыт.

Каждый случай подпитки котлов сырой водой должен фиксироваться в журнале по водоподготовке (водно-химическому режиму) с указанием длительности подпитки и качества питательной воды в этот период.

8.1.5. Для паровых и водогрейных котлов с учетом требований настоящих Правил, инструкций предприятий-изготовителей, типовых инструкций и других ведомственных нормативно-технических документов должны быть разработаны инструкция по ведению водно-химического режима и инструкция по эксплуатации установок (установок) для докотловой обработки воды с режимными картами, а при необходимости — и другая техническая документация, в которой, в частности, должны быть указаны:

а) назначение инструкции и перечень должностей персонала, для которых знание инструкции обязательно;

б) перечень использованных при составлении инструкции документов;

в) технические данные и краткое описание основных узлов, а также основного и вспомо-

гательного оборудования, в том числе котлов, турбин, деаэрационной установки, установок для дозирования аммиака, гидразина, фосфатов, едкого натра, установок для консервации и химической очистки оборудования, установок для водоподготовки со складским хозяйством и т. п.;

г) перечень и схема точек отбора проб воды, пара и конденсата для ручного и автоматического химического контроля;

д) нормы качества добавочной, питательной и котловой воды, пара и конденсата;

е) график, объем и методы химического контроля;

ж) перечень и краткое описание систем управления, автоматики, измерений и сигнализации;

з) порядок выполнения операций по подготовке к пуску оборудования и включению его в работу (проверка окончания работ на оборудовании, осмотр оборудования, проверка готовности к пуску, подготовка к пуску, пуск оборудования из различных тепловых состояний);

и) порядок выполнения операций по обслуживанию оборудования во время нормальной эксплуатации;

к) порядок выполнения операций по контролю за режимом деаэрации, режимом коррекционной обработки воды, режимом непрерывной и периодической продувок при пуске, нормальной эксплуатации и остановке котла;

л) порядок выполнения операций при остановке оборудования (в резерв, для ремонта, аварийно) и мероприятий, проводимых во время остановки (отмывка, консервация, оценка состояния оборудования для выявления необходимости очисток, принятия мер против коррозионных повреждений, ремонт и т. п.);

м) случаи, в которых запрещается пуск оборудования и выполнение отдельных операций при его работе;

н) перечень возможных неисправностей и мер по их ликвидации;

о) основные правила техники безопасности при обслуживании основного и вспомогательного оборудования и при работе в химической лаборатории.

8.1.6. Инструкции должны быть утверждены администрацией предприятия — владельца котла и находиться на рабочих местах персонала в соответствии с требованиями ведомственных НТД.

8.2. Требования к качеству питательной воды

8.2.1. Показатели качества питательной воды котлов с естественной и многократной принудительной циркуляцией паропроизводи-

тельностью 0,7 т/ч и более не должны превышать или выходить за пределы значений, указанных:

- а) для газотрубных котлов — в табл. 8.1;
- б) для водотрубных котлов с естественной циркуляцией (в том числе котлов-бойле-

ров) с рабочим давлением пара до 4 МПа (40 кгс/см²) — в табл. 8.2;

в) для водотрубных котлов с естественной циркуляцией с рабочим давлением пара 10 МПа (100 кгс/см²) — в табл. 8.3;

г) для энерготехнологических котлов

Т а б л и ц а 8.1.* Нормы качества питательной воды паровых газотрубных котлов

Показатель	Для котлов, работающих		Показатель	Для котлов, работающих	
	на жидком топливе	на других видах топлива		на жидком топливе	на других видах топлива
Прозрачность по шрифту, см, не менее	40	20	Содержание растворенного кислорода (для котлов с паропроизводительностью 2 т/ч и более), мкг/кг	50**	100
Общая жесткость, мкг-экв/кг	30	100			

* Номера таблиц 8.1—8.7 даны согласно [41].

** Для котлов, не имеющих экономайзеров, и котлов с чугунными экономайзерами содержание растворенного кислорода допускается до 100 мкг/кг.

Т а б л и ц а 8.2. Нормы качества питательной воды водотрубных котлов с рабочим давлением пара до 4 МПа (40 кгс/см²)

Показатель	Рабочее давление, МПа (кгс/см ²)			
	0,9 (9)	1,4 (14)	2,4 (24)	4 (40)
Прозрачность по шрифту, см, не менее	30	40	40	40
Общая жесткость, мкг-экв/кг	$\frac{30^{**}}{40}$	$\frac{15^{**}}{20}$	$\frac{10^{**}}{15}$	$\frac{5^{**}}{10}$
Содержание соединений железа (в пересчете на Fe), мкг/кг	Не нормируется	$\frac{300^{*}}{\text{Не нормируется}}$	$\frac{100^{*}}{200}$	$\frac{50^{*}}{100}$
Содержание соединений меди (в пересчете на Cu), мкг/кг	Не нормируется			$\frac{10^{*}}{\text{Не нормируется}}$
Содержание растворенного кислорода (для котлов с паропроизводительностью 2 т/ч и более)**, мкг/кг	$\frac{50^{*}}{100}$	$\frac{30^{*}}{50}$	$\frac{20^{*}}{50}$	$\frac{20^{*}}{30}$
Значение pH при 25 °С***	8,5—10,5			
Содержание нефтепродуктов, мг/кг	5	3	3	0,5

* В числителе указаны значения для котлов, работающих на жидком топливе, в знаменателе на других видах топлива.

** Для котлов, не имеющих экономайзеров, и для котлов с чугунными экономайзерами содержание растворенного кислорода допускается до 100 мкг/кг при сжигании любого вида топлива

*** В отдельных случаях, обоснованных головной специализированной ведомственной организацией, может быть допущено снижение значения pH до 7,0.

и котлов-утилизаторов с рабочим давлением пара до 4 МПа (40 кгс/см²), а для действующих котлов до 5 МПа (50 кгс/см²) — в табл. 8.4;

д) для энерготехнологических котлов и котлов-утилизаторов с рабочим давлением пара 11 МПа (110 кгс/см²) — в табл. 8.5;

е) для высоконапорных парогенераторов парогазовых установок — в табл. 8.6;

8.2.2. Показатели качества питательной воды для водотрубных котлов с естественной циркуляцией с рабочим давлением пара 14 МПа (140 кгс/см²) и всех энергетических прямоточных котлов должны удовлетворять требованиям действующих Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей (ПТЭ), утвержденных Минэнерго

СССР (14-е изд. Энергоатомиздат, 1989).

8.2.3. Качество подпиточной и сетевой воды водогрейных котлов должно удовлетворять требованиям табл. 8.7 *.

Для сорегенерационных котлов нормируется, кроме того, солесодержание питательной воды, которое не должно быть более 50 мг/кг.

* Данное требование не распространяется на водогрейные котлы, установленные на тепловых электростанциях и в отопительных котельных, работающих по отопительно-вентиляционному графику отпуска тепла, для которых качество воды должно соответствовать требованиям Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Минэнерго СССР (Энергоатомиздат, 1989).

Т а б л и ц а 8.3. Нормы качества питательной воды водотрубных котлов с естественной циркуляцией с рабочим давлением пара 10 МПа (100 кгс/см²)

Показатель	Для котлов, работающих		Показатель	Для котлов, работающих	
	на жидком топливе	на других видах топлива		на жидком топливе	на других видах топлива
Общая жесткость, мкг-экв/кг	1	3	Содержание растворенного кислорода, мкг/кг	10	10
Содержание соединений железа (в пересчете на Fe), мкг/кг	20	30	Значение pH* при 25 °С	9,1 ± 0,1	9,1 ± 0,1
Содержание соединений меди (в пересчете на Cu), мкг/кг	5	5	Содержание нефтепродуктов, мкг/кг	0,3	0,3

* При восполнении потерь пара и конденсата химически очищенной водой допускается повышенные значения pH < 10,5.

Т а б л и ц а 8.4. Нормы качества питательной воды паровых энерготехнологических котлов и котлов-утилизаторов с рабочим давлением пара до 4 МПа (40 кгс/см²)

Показатель	Рабочее давление, МПа (кгс/см²)				
	0,9 (9)		1,4 (14) и 1,8 (18)*		4 (40) и 5 (50)*
	Температура греющего газа, °С (расчетная)				
	до 1200 включи- тельно	до 1200 включи- тельно	свыше 1200	до 1200 включи- тельно	свыше 1200
Прозрачность по шрифту, см, не менее	30** 20	40** 30	40		
Общая жесткость, мкг/экв-кг	40** 70	20*** 50	15	10	5

Показатель	Рабочее давление, МПа (кгс/см²)				
	0,9(9)	1,4 (14) и 1,8 (18)*		4 (40) и 5 (50)*	
	Температура греющего газа, °С (расчетная)				
	до 1200 включи- тельно	до 1200 включи- тельно	свыше 1200	до 1200 включи- тельно	свыше 1200
Содержание соединений железа (в пересчете на Fe), мкг/кг	Не нормируется		150	100	50*4
Содержание растворенного кисло- рода, мкг/кг: для котлов с чугунным экономай- зером или без экономайзера для котлов со стальным экономай- зером	150	100	50	50	30
	50	30	30	30	20
Значение рН при 25 °С	Не менее 8,5*5				
Содержание нефтепродуктов, мг/кг	5	3	2	1	0,3

* Для действующих котлов.

** В числителе указано значение для водотрубных, в знаменателе — для газотрубных котлов.

*** Для водотрубных котлов с рабочим давлением пара 1,8 МПа (18 кгс/см²) жесткость не должна быть более 15 мкг-экв/кг.

*⁴ Допускается увеличение содержания соединений железа до 100 мкг/кг при условии применения методов реагентной обработки воды, уменьшающих интенсивность накипеобразования за счет перевода соединений железа в раствор, при этом должны соблюдаться согласованные с Госгортехнадзором СССР нормативы по допускаемому количеству отложений на внутренней поверхности парогенерирующих труб. Заключение о возможности указанного увеличения содержания соединений железа в питательной воде дается головной ведомственной энергетической организацией.

*⁵ Верхнее значение величины pH устанавливается не более 9,5 в зависимости от материалов, применяемых в оборудовании пароконденсатного тракта.

Примечание. Для газотрубных котлов-утилизаторов вертикального типа с рабочим давлением пара свыше 0,9 МПа (9 кгс/см²), а также для сордорегенерационных котлов показатели качества питательной воды нормируются по шестой графе.

Кроме того, для сордорегенерационных котлов нормируется солесодержание питательной воды, которое должно быть не более 50 мг/кг.

Т а б л и ц а 8.5. Нормы качества питательной воды энерготехнологических котлов и котлов-утилизаторов с рабочим давлением пара 11 МПа (110 кгс/см²)

Показатель	Значение	Показатель	Значение
Общая жесткость, мкг-экв/кг	3	Условное солесодержание (в пересчете на NaCl), мкг/кг**	300
Содержание соединений железа (в пересчете на Fe), мкг/кг	30	Удельная электрическая проводимость при 25 °С, мкСм/см**	2,0
Содержание растворенного кислорода, мкг/кг	10	Содержание нефтепродуктов, мг/кг	0,3
Значение pH при 25 °С	9.1 ± 0,1*		

* Верхнее значение величины pH устанавливается не более 9,5 в зависимости от материалов, применяемых в оборудовании пароконденсатного тракта

** Условное солесодержание должно определяться кондуктометрическим солемером с предварительной дегазацией и концентрированием пробы, а удельная электрическая проводимость — кондуктометром с предварительным водород-катнонированием пробы; контролируется один из этих показателей.

Т а б л и ц а 8.6. Нормы качества питательной воды высоконапорных парогенераторов парогазовых установок

Показатель	Рабочее давление пара, МПа (кгс/см ²)		
	4 (40)	10 (100)	14 (140)
Общая жесткость, мкг-экв/кг	5	3	2
Содержание соединений железа (в пересчете на Fe), мкг/кг	50*	30*	20*
Содержание растворенного кислорода, мкг/кг	20	10	10
Значение pH при 25 °С	9,0±0,2	9,1±0,1	9,1±0,1
Условное солесодержание (в пересчете на NaCl), мкг/кг**	Не нормируется	300	200
Удельная электрическая проводимость при 25 °С, мкСм/см**	То же	2,0	1,5
Содержание нефтепродуктов, мг/кг	1,0	0,3	0,3

* Допускается превышение норм по содержанию железа на 50 % при работе парогенератора на природном газе.

** Условное солесодержание должно определяться кондуктометрическим солемером с предварительной дегазацией и концентрированием пробы, а удельная электрическая проводимость кондуктометром с предварительным водород-катионированием пробы; контролируется один из этих показателей.

Т а б л и ц а 8.7. Нормы качества сетевой и подпиточной воды водогрейных котлов

Показатель	Система теплоснабжения					
	открытая			закрытая		
	Температура сетевой воды, °С					
	115	150	200	115	150	200
Прозрачность по шрифту, см, не менее	40	40	40	30	30	30
Карбонатная жесткость: при рН не более 8,5	$\frac{800^*}{700}$	$\frac{750^*}{600}$	$\frac{375^*}{300}$	$\frac{800^*}{700}$	$\frac{750^*}{600}$	$\frac{375^*}{300}$
при рН более 8,5	Не допускается			По расчету ОСТ 108.030.47 –81		
Содержание растворенного кислорода, мкг/кг	50	30	20	50	30	20
Содержание соединений железа (в пере- счете на Fe), мкг/кг	300	$\frac{300^*}{250}$	$\frac{250^*}{200}$	$\frac{600^*}{500}$	$\frac{500^*}{400}$	$\frac{375}{300}$
Значение рН при 25 °С	От 7.0 до 8,5			От 7,0 до 11,0**		
Содержание нефтепродуктов, мк/кг	<1,0					

* В числителе указаны значения для котлов, работающих на твердом топливе, в знаменателе — на жидком и газообразном топливе.

** Для теплосетей, в которых водогрейные котлы работают параллельно с бойлерами, имеющими латунные трубки, верхнее значение pH сетевой воды не должно превышать 9,5.

8.3. Требования к качеству котловой воды

Нормы качества котловой воды, необходимый режим ее коррекционной обработки, режимы непрерывной и периодической продувок принимаются на основании инструкции предприятия — изготовителя котла, типовых инструкций по ведению водно-химического режима и других ведомственных нормативных документов или на основании результатов теплохимических испытаний, при этом для паровых котлов с давлением до 4 МПа (40 кгс/см²) включительно, имеющих заклепочные соединения, относительная щелочность котловой воды не должна превышать 20 %, для котлов со сварными барабанами и креплением труб методом вальцовки (или вальцовкой с уплотнительной подваркой) относительная щелоч-

ность котловой воды допускается до 50 %, для котлов со сварными барабанами и приварными трубами относительная щелочность котловой воды не нормируется.

Для паровых котлов давлением более 4 МПа (40 кг/см²) относительная щелочность не должна превышать 20 %.

Дополнение

Качество пара

Паровые котлы без пароперегревателей должны вырабатывать насыщенный (влажный) пар с влажностью менее 1 %. (Солесодержание пара менее 1 % солесодержания котловой воды.) Лишь в отдельных случаях по согласованию с потребителями пара допускается повышение влажности пара до 10 %.

Т а б л и ц а П.10.1. Качество питательной воды для котлов с давлением до 1,3 МПа*

Показатель	Паровые котлы ДКВ, ДКВР, 2Г-50 и др. с давлением до 1,3 МПа без пароперегревателей	Паровые стальные и чугунные секционные котлы производительностью менее 0,7 т/ч	Стальные водогрейные котлы ПТВМ, ТВГ, КВГМ и др. (подпиточная и сетевая вода)
Жесткость общая $J_{\text{об}}$, мкг-экв/л, не более	20	200	200
Содержание кислорода O_2 , мкг/л, не более	30	100	50
Свободная углекислота CO_2 , мг/л, не более	Отсутствует	10	Отсутствует
Содержание избыточного сульфита натрия Na_2SO_3 , мг/л, не более	2		
Значение водородного показателя pH, не менее	7	7	7
Содержание взвешенных веществ, мг/л, не более	0	0	5

Выписка из «Правил устройства и безопасной эксплуатации водогрейных котлов, водоподогревателей и паровых котлов с избыточным давлением» (Оргкоммунэнерго, МЖКХ РСФСР. Стройиздат, 1979)

Продолжение

CO_2 < 10 мг/л
Значение pH > 7
Взвешенные вещества Отсутствуют

Качество питательной воды паровых котлов с естественной циркуляцией с производительностью до 0,7 т/ч должно быть:

Жесткость общая . . . < 200 мкг-экв/л
Растворенный кислород O_2 < 100 мкг/л
Свободная углекислота

Солесодержание и щелочность котловой воды устанавливаются на основе теплохимических испытаний. Относительная щелочность не нормируется.

Т а б л и ц а П.10.2. Качество котловой воды котлов-утилизаторов металлургических агрегатов, установок сухого тушения кокса и охладителей конвертерных газов [7]

Показатель	Котлы-утилизаторы и УСТК				Охладители конвертерных газов с давлением, МПа, не более	
	Газо-трубные	Водотрубные котлы с принудительной циркуляцией давлением, МПа, не более				
		0,6	1,8	5	1,8	5
Солесодержание (расчетное) продувочной воды, мг/л: без ступенчатого испарения с внутренними солевыми отсеками или с внутрибарабанными циклонами (без ступенчатого испарения)	—	3000 6000	3000	1500 1500	3000 3000	1500 1500
Содержание фосфатов (PO ₄ ³⁻): чистый отсек или котел без ступенчатого испарения солевой отсек	—	—	—	5—10		5—10
	—	—	—	<75		75
Размер продувки, %	15/10		10/7	7/5		7/5

Примечание. В числителе — с полным использованием выпара и теплоты продувочной воды в знаменателе — с неполным.

Т а б л и ц а П.10.3. Качество питательной воды СИО металлургических агрегатов

Показатель	Мартеновские печи с давлением, МПа			Доменные и методические печи прокатных станов с давлением, МПа, не более		
	0,6	1,8	5	0,6	1,8	5
Прозрачность по шрифту Снеллена, см	40	40	40	40	40	более 40
Общая жесткость, мкг-экв/л	100	20/15*	10	100	20/15*	10/5*
Соединения железа Fe, мкг/л	Не нормируются	Не нормируются/150*	150*/100	Не нормируются	Не нормируются/150*	150*/100
Соединения меди Cu, мкг/л	Не нормируются		20	Не нормируются		20
Растворенный кислород О:						
СИО без экономайзера	100	50	30	100	50	30
СИО с экономайзером	30	30	30	30	30	20
Сухой остаток, мг/л			Размер продувки < 10 %			
Нитриты NO_2 , мкг/л	Не нормируются		20	Не нормируются		20
Аммиак NH_3 свободный, мкг/л			Отсутствие			
Аммиак, связанный с углекислотой, мкг/л			3000—4000			
Значение pH при 25 °С			> 8,5			
Щелочность по фенолфталеину, мкг-экв/л			Наличие			
Свободная углекислота CO_2 , мг/л			Отсутствие			
Сульфит натрия Na_2SO_3 , мг/л			<2			

Показатель	Мартеновские печи с давлением, МПа			Доменные и методические печи прокатных станов с давлением, МПа, не более		
	0,6	1,8	5	0,6	1,8	5
Гидразин гидрат N_2H_4 (количество вводимого), мкг/л	—	—	30—100	—	—	30—100
Вещества, экстрагируемые эфиром (масла, нефть), мг/кг	3	3	1	3	3	1

* В числителе — при температуре выходящих газов за агрегатами перед ТУПГ менее 1200 °С, в знаменателе — при температуре более 1200 °С.

Т а б л и ц а П.10.4. Качество котловой воды (концентрата) и пара СИО металлургических агрегатов

Показатель	Мартеновские печи с давлением, МПа			Доменные и методические печи прокатных станов с давлением, МПа		
	0,6	1,8	5	0,6	1,8	5
В о д а (концентрат)						
Солеосодержание (расчетное) продувочной воды, мг/л:						
без ступенчатого испарения	—	3000	1500	3000	1500	1500
с внутрибарабанными солевыми отсеками или с внутрибарабанными циклонами без ступенчатого испарения	—	6000	1500	6000	1500	1500
Содержание фосфатов (PO_4^{3-}), мг/л:						
чистый отсек	—	—	5—10	—	—	5—10
солевой отсек	—	—	75	—	—	75
П а р						
Солеосодержание, мг/кг:						
при отсутствии пароперегревателя	Не более 10		—	Не более 10		—
при наличии пароперегревателя и использовании пара, мкг/кг, в пересчете на Na_2SO_4 для:						
промышленных целей	500	500	300	500	500	300
турбин	—	300	200	—	300	200
Свободный аммиак	Отсутствие					
Значение pH конденсата пара при 25 °С	6—9					
Размер продувки*	15/10	10/7	7/5	15/10	10/7	7/5

* В числителе — с полным использованием теплоты и воды выпара, в знаменателе — с частичным.

Приложение 11. Водно-химический режим тепловых сетей (выписка из [44])

3.4 *. Для открытых и закрытых систем теплоснабжения с вакуумными деаэраторами следует использовать питьевую воду по

ГОСТ 2874—82. Для закрытых систем теплоснабжения при наличии термических деаэраторов (ДА) допускается использование технической воды. Использование доочищенных хозяйственно-питьевых сточных вод не допускается.

* № пунктов даны согласно СНиП 2.04.07—87.

3.5. Технологические аппараты, от которых могут поступать в общие тепловые сети вредные вещества, должны присоединяться к тепловым сетям через водоподогреватели с дополнительным циркуляционным контуром между аппаратом и водоподогревателем при обеспечении давления в промежуточном контуре ниже давления в тепловой сети. При этом следует предусматривать установку (в проме-

жуточном контуре) пробоотборных точек для контроля за наличием вредных примесей.

3.6. Расход и качество воды для подпитки водяных тепловых сетей, а также число и емкость баков-аккумуляторов в открытых системах теплоснабжения и баков запаса подпиточной воды в закрытых системах теплоснабжения следует принимать по действующим нормам ПТЭ Минэнерго СССР (14-е изд. ЭАИ, 1989).

Т а б л и ц а П.11.1. Выбор способа обработки воды для централизованного горячего водоснабжения в (при) закрытых системах теплоснабжения

Показатели качества исходной водопроводной воды, средние за год			Способ противокоррозионной и противонакипной обработки в зависимости от вида труб		
Индекс насыщения карбонатом кальция J при 60°	Cl + SO ₄ ²⁻ , мг/л	Перманганатная окисляемость, мг О/л	Стальные трубы без покрытий или совместно с оцинкованными трубами	Оцинкованные трубы	Стальные трубы с внутренним неметаллическим покрытием или термостойкие пластмассовые трубы
< -1,5	≤ 50	0 - 6	ВД	ВД	—
< -1,5	> 50	0 - 6	ВД + С	ВД + С	—
< 1,5 ÷ -0,5	≤ 50	0 - 6	С	С	—
-0,5 - 0	≤ 50	0 - 6	С	—	—
0 - 0,5	≤ 50	> 3	С	—	—
0 - 0,5	≤ 50	≤ 3	С + М	М	М
> 0,5	≤ 50	0 - 6	М	М	М
-1,5 - 0	51 - 75	0 - 6	С	С	—
-1,5 - 0	76 - 150	0 - 6	ВД	С	—
-1,5 - 0	> 150	0 - 6	ВД + С	ВД	—
0 - 0,5	51 - 200	> 3	С	С	—
0 - 0,5	51 - 200	≤ 3	С + М	С + М	М
0 - 0,5	> 200	≤ 3	ВД	ВД	—
0 - 0,5	> 200	≤ 3	ВД + М	ВД + М	М
> 0,5	51 - 200	0 - 6	С + М	С + М	М
> 0,5	201 - 350	0 - 6	ВД + М	С + М	М
> 0,5	> 350	0 - 6	ВД + М	ВД + М	М

П р и м е ч а н и я: 1. ВД - вакуумная деаэрация; С - силикатная обработка; М - магнитная обработка; тип обработки не требуется.

2. Значения индекса насыщения карбонатом кальция определяются по СНиП 2-04-02 - 84 в среднем за год. Концентрация Cl + SO₄²⁻ и других растворенных в воде веществ определяется по ГОСТ 2761 - 84. При подсчете индекса насыщения вводится поправка на температуру, при которой определялся водородный показатель pH.

3. Cl + SO₄²⁻ по ВГПИ «Сантехпроект» только для оцинкованных труб.

4. Содержание Cl не более 350 мг/л, SO₄²⁻ не более 500 мг/л.

5. Использование для горячего водоснабжения воды с перманганатной окисляемостью более 6 мг О/л, как правило, не допускается. При допущении органами Минздрава цветности исходной воды до 35° окисляемость воды может быть допущена более 6 мг О₂/л.

6. При наличии на теплопункте пара вместо вакуумной деаэрации следует предусматривать атмосферную деаэрацию с охладителями деаэрированной воды.

7. Если в исходной воде концентрация СО₂ более 10 мг/л, то после вакуумной деаэрации следует предусматривать подщелачивание деаэрированной воды (до pH - 8,3 ÷ 8,5).

8. Магнитная обработка применяется при общей жесткости не более 10 мг-экв/л и при карбонатной жесткости более 4 мг-экв/л. Напряженное магнитного поля в рабочем зазоре магнитного аппарата не более 159 · 10³ А/м.

9. При содержании в воде Fe более 0,3 мг/л предусматривается обезжелезивание независимо от наличия других способов обработки воды.

10. Силикатную обработку воды и подщелачивание следует предусматривать путем добавки в исходную воду раствора жидкого натриевого стекла по ГОСТ 13078 - 82

Таблица П.11.2. Карбонатный индекс I_k подпиточной и сетевой воды тепловых сетей, мг-экв/л (НР-34-70-051—83)

Вода	Температура сетевой воды на выходе из водонагревателя, °С					
	70—100	101—120	121—130	131—140	141—150	151—160
Подпиточная:						
для водогрейных котлов	3,2/3,0	2/1,3	1,5/1,2	1,2/1	0,8/0,5	—
для сетевых подогревателей	4/3,5	3/2,5	2,5/2	2,5/2	2/2	1/0,5
при силикатировании и обоих типах подогрева	1,5	1,5	1	1	1	
при Na-катионировании подпиточной воды	1	1	0,5	0,5	0,5	
Сетевая вода открытых и закрытых систем:						
для водогрейных котлов	3,2	2	1,5	1,2	0,8	—
для сетевых водонагревателей	4	3	2,5	2,5	2	1

Примечание. В числителе — для открытых систем, в знаменателе — для закрытых.

Таблица П.11.3. Показатели качества подпиточной и сетевой воды (НР-34-70-051—83)

Показатель	Значения	Показатель	Значения
Растворенный кислород О, мг/л	0,05/0,02*	Содержание железа Fe, мг/л	0,3—0,5/0,5***
Свободная углекислота CO ₂ , мг/л	Отсутствует	Взвешенные вещества не более, мг/л	5
Значение pH	8,3—9/8,3—9,5**	Масла и нефтепродукты не более, мг/л	3
Перманганатная окисляемость для открытых систем, мг О/л, не более	5	Кремниевая кислота SiO ₂ в сетевой воде открытых систем при силикатировании, мг/л, не более	30

* В числителе — в подпиточной воде, в знаменателе — в сетевой.

** Для всех видов воды в числителе — для открытых систем, в знаменателе — для закрытых.

*** В сетевой воде в числителе — для открытых систем, в знаменателе — для закрытых.

В период пуска тепловых сетей после ремонта (монтажа) допускаются отклонения от указанных норм (в первую очередь по содержанию железа и цветности): при закрытых системах в течение не более четырех недель, при открытых — не более двух недель.

При нормировании жесткости подпиточной и сетевой воды согласно нормам НР-34-70-051—82 и определении карбонатного индекса следует учитывать, что в формуле

$$I_k = \frac{J_{Ca}}{J_{общ}} \quad (\text{мг-экв/л})^2,$$

при pH < 9,5 должна учитываться только кальциевая жесткость подпиточной воды, но не общая, поскольку растворимость MgCO₃ значительно выше растворимости CaCO₃.

Значения карбонатного индекса I_k , указанные в табл. П.15, обеспечивают допусти-

мую скорость накипеобразования в водогрейных котлах 0,1 г/(м²·ч) или за отопительный сезон 600—800 г/(м²·год).

При низкой жесткости Na-катионированной воды (< 0,1 мг-экв/л) определение отдельно J_{Ca} и J_{Mg} недостаточно точно, а принимать соотношение концентрации ионов $Ca^{2+} : Mg^{2+}$ в умягченной воде таким же, как в исходной воде, неправильно.

Санитарные требования к подпиточной и сетевой воде открытых систем теплоснабжения должны соответствовать ГОСТ 2874—82.

Выписка из НР 34-70 051—83 [46]

3.3.1. Допускается разверка температур сетевой воды в отдельных трубах водогрейного котла не более 20 °С.

3.3.2. Использование для подпитки тепло-

вых сетей продувочной воды паровых котлов или отмывочной воды ионитных фильтров не рекомендуется.

3.3.3. Присадка гидразина и других токсичных веществ в подпиточную и сетевую воду запрещается.

3.3.4. Обработка добавочной (подпиточной) воды тепловых сетей (перед деаэрацией) проводится одним из следующих способов:

известкованием с последующей коррекцией значения pH;

H-катионированием в «голодном режиме» регенерации;

подкислением.

Допускается комбинирование указанных способов с Na-катионированием части обработанной воды при обязательном наличии буферного катионитного фильтра.

Приложение 12. Нормы качества перегретого пара (согласно ГОСТ 20995—75 и ПТЭ Минэнерго)

Т а б л и ц а П.12. Нормы качества перегретого пара

Показатель	Избыточное давление в котлах, МПа (кгс/см ²)						
	промышленных			энергетических			
				ГРЭС		ТЭЦ	
	1,4/(14)	2,4/(24)	4/(40)	4/40	10/100	4/40	10/100
Солесодержание в пересчете на Na ⁺ , мкг/кг	400	200	100	60	15	100	25
То же в пересчете на NaCl, мкг/кг	1000	500	250		—	—	—
Свободная углекислота CO ₂ , мг/кг	20	20	20	10	10	20	10
Свободный аммиак (не связанный с CO ₂), мкг/кг	Не допускается						
Связанный аммиак в пересчете на NH ₃ , мкг/кг	По условиям потребителей пара и качества конденсата			1000	1000	1000	

Приложение 13. Химические реагенты для обработки воды

Перечень химических веществ с эквивалентами традиционных наименований

1. Активная кремнекислота SiO₂.
2. Алюминий сульфат — сульфат алюминия, серно-кислый алюминий, глинозем сернокислый (коагулянт) Al₂(SO₄)₃·nH₂O·mSiO₂.
3. Аммиак жидкий синтетический NH₃ — 100 %.
4. Аммиачная вода, водный раствор аммиака, аммиак водный, гидрат оксида аммония, нашатырный спирт NH₃·nH₂O — 25 %.
5. Аммоний сульфат сульфат аммония, серно-кислый аммоний технический (NH₄)₂SO₄.
6. Аммоний хлорид, хлористый аммоний, нашатырь NH₄Cl.
7. Динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты. Трилон Б, ЭДТNa₂, смягчитель Ф-1, комплексон.
8. Дистеарилгексаметилендиамид — диамид, пеногаситель.

9. Железо II сульфат, железный купорос, серно-кислое (закисное) железо, сульфат закиси железа FeSO₄·7H₂O.

10. Железо III хлорид, хлорное железо, хлорид железа FeCl₃·6H₂O.

11. Известковая суспензия — известковое молоко Ca(OH)₂.

12. Известковый раствор прозрачный Ca(OH)₂.

13. Кальций гидроксид — (пушонка). Известь гашеная порошкообразная без избыточной воды Ca(OH)₂.

14. Кальций оксид — оксид кальция, известь негашеная (комовая и молотая безводная — CaO).

15. Кальций хлорид — хлористый кальций, хлорид кальция безводный CaCl₂ или водный CaCl₂·6H₂O.

16. Натрий гидроксид, натрий едкий, едкий натр, гидрат оксида натрия, каустическая сода, каустик, натриевая щелочь NaOH.

17. Натрий карбонат — сода кальцинированная, натрий углекислый, стиральная сода, безводный Na_2CO_3 или водный $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

18. Натрий бикарбонат — бикарбонат натрия, двууглекислый натрий, питьевая сода NaHCO_3 .

19. Нитрат натрия — азотно-кислый натрий, натриевая селитра NaNO_3 .

20. Натрий нитрит — нитрит натрия, азотисто-кислый натрий NaNO_2 .

21. Натрий силикат — силикат натрия, растворимое стекло безводное — глыба стекловидная: $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,8 \div 3,5\text{SiO}_2$, жидкое с концентрацией 35—45 % безводного силиката натрия.

22. Натрий сульфат — сульфат натрия, серно-кислый натрий, безводный тенардит Na_2SO_4 , водный мирабилит, глауберова соль $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

23. Натрий бисульфат — бисульфат натрия, кислый серно-кислый натрий NaHSO_4 .

24. Натрий сульфит — сульфит натрия, сернисто-кислый натрий — безводный Na_2SO_3 , водный $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

25. Натрия тносульфат (гипосульфит) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

26. Натрий хлорид — хлорид натрия — хлористый натрий, соль поваренная, соль пищевая, отходы калийной промышленности, соль каменная, соль осадочная NaCl .

27. Полиакриламид ПАА (флокулянт).

28. Серная кислота H_2SO_4 .

29. Соляная кислота — хлористоводородная кислота HCl .

30. Хлор жидкий и газообразный Cl_2 .

31. Хлорная известь смесь $\text{CaOCl}_2 + \text{CaCl}_2 \cdot \text{CaO}$.

Соотношение единиц СИ с традиционными единицами, запрещенными к применению

1 МПа $\approx 9,8$ кгс/см²

1 Вт $\approx 0,86$ ккал/ч

1 Дж = $0,238 \cdot 10^{-9}$ Гкал

1 моль/м³ = 1 г-экв/м³

1 Ммоль/л = 1 мг-экв/л

1 мкмоль/л = 1 мкг-экв/л

1 Вт/м² = $0,86$ ккал/(м²·ч)

1 кВт/м² = 860 ккал/(м²·ч)

1 А/м = $0,0126$ Э

Важнейшие реагенты и материалы, применяемые для обработки воды в теплоэнергетике и условия их хранения

Коагулянт — серно-кислый алюминий или глинозем неочищенный $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$, беловато-серый порошок, ГОСТ—5155—54; содержание Al_2O_3

9,5 %, свободной H_2SO_4 2—3 %, нерастворимого остатка не более 23 %.

Серно-кислый алюминий очищенный $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, куски, ГОСТ 12996—75, содержание Al_2O_3 : высший сорт 16,3 %, первый сорт 15 %, второй сорт 14,0 %, H_2SO_4 0,1 %. Хранение 1—3-месячного запаса насыпью, в железобетонных резервуарах, реже — в таре.

Серно-кислое (закисное) железо — железный купорос $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — бледно-зеленые кристаллы с буроватым налетом, ГОСТ 6981—75; содержание FeSO_4 47—53 %. Хранение 1—3-месячного запаса в железобетонных резервуарах или в таре.

Флокулянт — полиакриламид (ПАА) $[\text{C}_3\text{H}_5\text{OH}]_n$ — вязкая масса зеленовато-бурого цвета; различные технические условия; содержание сухого вещества 8—9 %. Хранение 1—3-месячного запаса в таре (полиэтиленовые мешки в ящиках, бочках или барабанах).

Флокулянт-консервант, силикат натрия растворимый $\text{Na}_2\text{O} \cdot (2,8 \div 3,5)\text{SiO}_2$ — глыба, ГОСТ 13079—67; стекловидные куски зеленовато-желтого цвета, содержание Na_2O 22,7—27,0 %, SiO_2 71,5—76,5 %. Хранение 1—3-месячного запаса насыпью.

Стекло натриевое жидкое — серовато-бурая густая вязкая жидкость, ГОСТ—13078—67, содержание Na_2O 10—12 %; SiO_2 28,5—33 %. Хранение 1—3-месячного запаса в резервуарах.

Известь строительная воздушная негашеная CaO , белые комки — пылящий порошок, ГОСТ 9179—77, содержание водорастворимой CaO 20—60 %. Хранение 1—3-месячного запаса насыпью в железобетонных резервуарах, где известь можно гасить.

Углекислый натрий Na_2CO_3 сода кальцинированная, порошок белого цвета, ГОСТ 5100—73. Хранение 1—3-месячного запаса или в мешках, или в железобетонных резервуарах, иногда в растворенном виде, кристаллизация нежелательна.

Едкий натр NaOH твердый — каустическая сода — каустик, ГОСТ 2263 71, содержание NaOH 94—98,5 %. Хранение 1—3-месячного запаса в таре — в стальных барабанах.

Едкий натр жидкий, содержание NaOH 43—46 %. Хранение 1—3-месячного запаса в стальных резервуарах или бочках при температуре выше 0 °C.

Серная кислота H_2SO_4 контактная, улучшенная — купоросное масло, ГОСТ 2184—77, содержание H_2SO_4 92,5—94,0 %. В высшем и первом сортах нормируется со-

Т а б л и ц а П.13.1. Качество различных сортов поваренной соли

Сорт соли	Содержание на сухое вещество, %		
	NaCl + KCl	Ca + Mg	Нерастворимый остаток
Пищевая, ГОСТ 13830—68:			
экстра	99,2	0,03	0,05
высший	98,0	0,1	0,2
первый	97,5	0,1	0,5
второй	96,5	0,25	0,9
Техническая очищенная (трест «Урал-калий») ТУ-113-13-10—77	98 ± 1	0,55	0,8
Техническая — отходы (трест «Урал-калий») ТУ-113-13-5 75	95,7	0,815	2,0
Техническая отходы (трест «Белорусскалий»)*	93,5	0,43	5,5
Техническая прикарпатских (Калушских) месторождений, ТУ-113-13-14—82	97,5	0,5	1,0
Соль каменная, ТУ-113-13-35 85	NaCl > 75 KCl < 20	— 1,3	— 2,0
	Кусков крупнее 40 мм не более 6 %		

* Отходы треста «Белорусскалий» галургического обогащения (не флотационного) допускаются только для малых ВПУ, где можно организовать очистку раствора путем отстаивания или электрокоагуляции.

держание мышьяка, As должно быть не более 0,00008—0,0001 %.

Серная кислота техническая, содержание H_2SO_4 92,5 %.

Серная кислота башенная, содержание H_2SO_4 75 %, регенерированная H_2SO_4 91 %.

Серная кислота аккумуляторная, ГОСТ 667 73, содержание H_2SO_4 92—94 %, As 0,00005—0,0001 %.

Серная кислота H_2SO_4 с концентрацией 75 % хранится в стальных резервуарах при температуре выше минус 20 °С.

Хлористый натрий NaCl — поваренная соль.

Качество NaCl дано в табл. П.13.1.

Целесообразно растворы всех сортов соли отстаивать не менее 8 ч и фильтровать через зернистую загрузку с размером зерен 1—2 мм со скоростями 5—7 м/ч.

Соляная кислота HCl: техническая, ГОСТ 1382—69, содержание HCl: 1-й сорт — 31,5 %, второй сорт — 27,5 %; синтетическая, ГОСТ—857—69, содержание HCl: сорт А — 35—38 %; сорт Б не менее 32,5 %. В — не менее 31,0 %; ингибированная, ТУ 6-01-714—77, содержание HCl 19—25 %, скорость коррозии стали ингибированной неразбавленной кислотой при 20 °С 0,25 г/(м²·ч) — 0,28 мм/год.

Техническую и синтетическую соляные кислоты хранят в резервуарах с кислотостойким

покрытием или в стеклянных бутылках. Ингибированная кислота может храниться в течение 1—2 мес в стальных, сварных, не защищенных покрытиями резервуарах (толщина стенок и дна 8—10 мм). Количество хранимой кислоты — на одну промывку котла с запасом в 25 %. Обычная емкость резервуара (не менее 25 м³) должна быть равна емкости железнодорожной цистерны.

Аммиак жидкий (сжиженный) синтетический NH_3 , ГОСТ—6221 75, содержание NH_3 99,6 %. Хранение 1 3-месячного запаса в стальных баллонах.

Аммиак водный NH_3 — NH_4OH , ГОСТ 9 77. Содержание NH_3 25 %, CO_2 8 г/л. Хранение 1- 3-месячного запаса в бочках, бутылках.

Серно-кислый аммоний — сульфат аммония $(NH_4)_2SO_4$ кристаллический, ГОСТ 10873—73 и ГОСТ 9097 74, содержание $(NH_4)_2SO_4$ 98—99 %. Хранение в таре или насыпью, имеет кислую реакцию.

Персульфат аммония $(NH_4)_2S_2O_8$ кристаллический.

Хлор жидкий Cl_2 , ГОСТ 6768—68, содержание Cl_2 99,8 %. Хранение в баллонах, на отдельном складе.

Известь хлорная $CaOCl_2$, ГОСТ 1692 78, содержание активного хлора 32 35 %. Хранение в таре (деревянные бочки).

Кальция гипохлорит, двутреть-основный $Ca(OCl)_2$, ГОСТ 13392—73, содер-

жание Cl_2 : первый сорт 55 %, второй сорт 50 %. Хранение в таре. Запас — не более чем на 3 мес.

Гипохлорит натрия NaClO , ГОСТ 11086-76, содержание Cl_2 20 %. Хранение в таре.

Суперфосфат- смесь $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{CaSO}_4$, гранулированный, ГОСТ 5956-78, содержание усвояемой P_2O_5 19–20 ± 1 %, свободной P_2O_5 2,3–2,5 %, двойной гранулированный, ГОСТ 16306-75, содержание: усвояемой P_2O_5 49–43 ± 1 %, водорастворимой P_2O_5 не менее 42–37 %, свободной P_2O_5 2,5–5 %.

Натрий фосфорно-кислый тринатрий фосфат Na_3PO_4 , ГОСТ 201-76, одноводный технический $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, содержание P_2O_5 — 38,8 %; двенадцативодный $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ технический и пищевой, содержание P_2O_5 18,5–18,7 %; pH — 1 %-ного водного раствора 11,5–12,5. Хранение в мешках или другой таре.

Натрий фосфорно-кислый динатрий фосфат $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, ГОСТ 451-41, содержание $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$: первый сорт 96 %, второй сорт 92 %, третий сорт 88 %. Хранение в шестислойных бумажных мешках, бочках, барабанах.

Натрий триполифосфат $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$, ГОСТ 13493-77, содержание $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$: пищевой и высший сорта — 97 %, 1-й сорт — 92 %, 2-й сорт — 88 %. Хранение в бумажных мешках.

Гексаметафосфат натрия (соль Грахама) $(\text{NaPO}_3)_6$, ГОСТ 20291-74, содержание P_2O_5 : сорт А 60 %, сорт Б 52 %, в том числе неактивной (ортофосфорной) P_2O_5 8 %.

Оксиэтилендифосфоновая кислота (ОЭДФ или ОЭДФК) $\text{C}_2\text{H}_8\text{O}_7\text{P}_2$. Хранение в таре.

Этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА) $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}_8\text{N}_2$, ТУ — УПК ХРУ-853-61, содержание ЭДТА ≈ 90 %. Хранение в таре.

Двунатрневая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА Na_2O), трилон Б $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_8\text{N}_2\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, ТУ 6-14-198-76, содержание трилона Б 95–98 %. Хранение в таре.

Серно-кислая медь — медный купорос $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, синие кристаллы, ГОСТ 19347-74, содержание $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 93–98 %. Хранение в таре.

Натрий двууглекислый NaHCO_3 — бикарбонат натрия, ГОСТ 2156-76, содержание NaHCO_3 98,5–99,5 %. Хранение в таре.

Натрий азотно-кислый NaNO_3 нитрат натрия — селитра натриевая, ГОСТ—827-77, содержание NaNO_3

99,5 %. Хранение в таре.

Натрий азотисто-кислый NaNO_2 — нитрит натрия ГОСТ 19906-74, содержание NaNO_2 97–99 %. Хранение в таре.

Натрий фтористый, технический NaF , ГОСТ 2871-95, содержание NaF : первый сорт 95 %, второй сорт 80 %, содовый 70 %. Хранение в полиэтиленовых или многослойных бумажных мешках и в твердой таре.

Натрия тиосульфат кристаллический $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, ГОСТ 244-76, содержание $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 98–99 %. Хранение в таре.

Натрий сернисто-кислый (сульфит натрия) технический безводный Na_2SO_3 , ГОСТ 5644-75, содержание Na_2SO_3 93 %. Хранение в таре.

Сульфит натрия кристаллический технический $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, ГОСТ 903-76, содержание $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 91 %. Хранение в таре.

Кислота сульфаминовая NH_2HSO_3 , порошкообразная. Хранение в таре.

Смесь низкомолекулярных органических кислот (НМК) содержит монокарбоновые кислоты: муравьиную, уксусную, пропионовую, масляную и др., содержание НМК в водном конденсате (ВК) 26–28 %, кислотное число 220–310, в черной кислоте (ЧК) 63–70 %, кислотное число 630–650. Хранение в стальных резервуарах, защищенных от коррозии.

Дикарбоновые органические кислоты — смесь шавелевой, янтарной, глутаровой, адипиновой кислот, суммарное содержание кислот 98–98,7 %. Хранение в таре.

Ингибитор ПБ-5, ТУ 6-01-730-77

Уротропин технический $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$, ГОСТ 1381-75, содержание $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$ 98–99 %. Хранение в таре.

Формалин технический $\text{CH}_2\text{O} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ жидкий, ГОСТ 1627-77, содержание CH_2O 37 %. Хранение в таре.

Тиомочевина $\text{CH}_4 \cdot \text{N}_2\text{S}$, МРТУ 6-09-6254-69.

Вещества вспомогательные, моющие ОП-7 и ОП-10, ГОСТ 8433-52. Хранение в таре.

2-меркаптобензотиазол — каптакс $\text{C}_7\text{H}_5 \cdot \text{NS}_2$, ГОСТ 739-74, содержание $\text{C}_7\text{H}_5 \cdot \text{NS}_2$ 90–97 %. Хранение в таре.

Фильтрующие материалы: кварцевый песок, дробленый кварц и другие кварцевые материалы; дробленые антрацит, пековый кокс, керамзит и др. Хранение или в таре, или насыпью в резервуарах, железобетонных ящиках, защищенных от осадков и ветра, при любой температуре.

Активированные угли марок БАУ-Б, ДАК, ГОСТ 6217-74; АГМ, ТУ 6-16-2589 -- 82. Хранение в таре.

Сульфуголь и другие катиониты и аниониты. Хранение в таре в закрытых помещениях при температуре выше 0 °С не ближе

1 м от отопительных приборов.

Каждый из фильтрующих материалов должен храниться не менее 20 % количества загруженного во все фильтры, но не менее количества, необходимого для загрузки одного крупнейшего фильтра с 20 %-ным запасом.

Т а б л и ц а П.13.2. Концентрация рабочих растворов важнейших реагентов

Формула сухого вещества	Запасной концентрированный раствор			
	%, массовая доля	г/л	мг-экв/л	Плотность, г/мл
$Al_2(SO_4)_3$	10—15	100—150	1750 2600	1,10—1,16
$FeSO_4$	10—15	100—150	1300—2000	1,10 1,156
Полиакриламид ПАА	Вязкий 8—9	—	—	—
$Na_2O \cdot 3SiO_2$	38—45	520—670	—	1,36—1,5
СаО (без недопала)	5—10	50—100	2000—4000	—
Na_2CO_3	До 10	100	До 1500	1,10
NaOH	43—46	610—680	1500—1700	1,45—1,48
H_2SO_4	75—94	1250—1750	25 500—36 000	1,68—1,84
NaCl	20—25	240—300	4300 5200	1,13—1,19

Продолжение табл. П.13.2

Формула сухого вещества	Разбавленный рабочий раствор			
	%, массовая доля	г/л	мг-экв/л	Плотность, г/мл
$Al_2(SO_4)_3$	3—5	30—50	500—900	1,03 1,05
$FeSO_4$	3—5	30—50	400—650	1,03—1,05
Полиакриламид ПАА	0,2—1,0	2—10	—	—
$Na_2O \cdot 3SiO_2$	3—10	3—10	—	1,02—1,08
СаО (без недопала)	2—5	20—50	800—2000	1,017—1,043
Na_2CO_3	3—10	30—100	500—1500	1,03—1,10
NaOH	4	40	1000	1,043
H_2SO_4	1—4	10—40	200—800	1,005—1,025
NaCl	3—10	30—100	520—1700	1,02—1,067

Т а б л и ц а П.13.3. Важнейшие технологические свойства отечественных катионитов

Марка	Размер зерен, мм	Насыпная масса, т/м³*		Обменная емкость, г-экв/м³*		Влажность товарного воздушно-сухого продукта, %	Коэффициент набухания, К	
		товарного воздушно-сухого продукта	набухшего в воде продукта	в Na-форме	в H-форме		сухого безводного продукта	товарного продукта

Сульфуголь, ГОСТ 5696 с изм.

Крупный								
1-го сорта	0,5—1,25	0,67—0,7	0,82	267	} 270	} 20—40	} 1,8	} 1,25
2-го сорта				232				
Мелкий								
1-го сорта	0,25—0,7	0,69—0,78		357	—	}	}	}
2-го сорта				250				

Марка	Размер зерен, мм	Насыпная масса, т/м³*		Обменная емкость, г-экв/м³*		Влажность товарного воздушно-сухого продукта, %	Коэффициент набухания, К	
		товарного воздушно-сухого продукта	набух-шего в воде продукта	в Na-фор-ме	в H-фор-ме		сухого безвод-ного продукта	товарного продукта
Катиониты синтетические, ГОСТ 20298 -74								
КУ-1	0,2—2,0	0,63	0,7	350	350	40 -55	2	1
КУ-2-8**	0,315—1,25	0,8	0,8	950	650	50—60	2,1	1
КБ-4П-2	0,315—1,6	0,68—0,82	—	670	—	55—75	—	—

* В производственных условиях обменная емкость отличается от приведенных в таблице значений и зависит от конкретных условий качества исходной воды, условий регенерации, температуры технологической схемы и др.

** Зарубежные аналоги: Амберлит JR-180, Дауэкс (США), Зеролит-225 (Англия), Вофатит KRS-200 (ГДР), Варион KS (ВНР).

Таблица П.13.4. Важнейшие технологические свойства отечественных анионитов (по ГОСТ 20301—74)

Марка	Размер зерен, мм	Насыпная масса, т/м³		Обменная емкость, г-экв/м³** по ионам			Влажность товарного воздушно-сухого продукта, %	Коэффициент набухания $K_{нб}$
		товарного воздушно-сухого продукта	набухшего в воде продукта	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	SiO ₃ ²⁻		
Низкоосновные:								
АН-31	0,4—2,0	0,7—0,8	0,8	850	—	—	30—50	2,1
АН-221	0,315—1,28	0,83	0,34	850	850	—	40—60	3,0
Высокоосновные:								
ЭДЭ-10П	0,4—1,6	0,6	0,95	1200	800	30	10	2,2
АВ-17-8**	0,315—1,25	0,6—0,7	0,74	430	430	250	35—50	2,2

* Показатели свойств анионитов в производственных условиях отличаются от указанных в таблице вследствие отличий в построении технологической схемы ВПУ и ведения процесса

** Зарубежные аналоги АВ-17-8: Амберлит JRA-400 и Дауэкс-1 (США), Зеролит FF (Англия), Дуолит А-101 (Франция), Вофатит SBW (ГДР), Леватит М-500 (ФРГ).

руководство

На рис. П.1 — П.20 даны схемы аппаратов для обработки и подогрева воды, а в табл. П.14.1 — П.14.26 — их конструктивные и технологические характеристики, а так-

же краткие характеристики малых водогрейных и паровых котлов низкого и среднего давления.

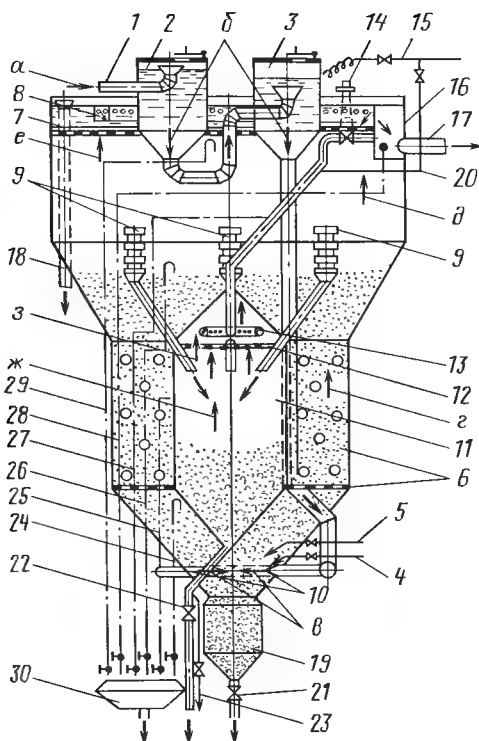


Рис. П. 1.

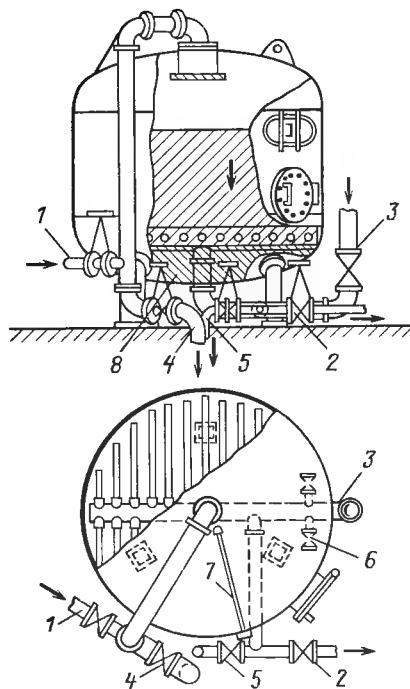


Рис. П. 2.

Рис. П.1. Осветлитель типа ЦНИИ-МПС-1А для известкования-коагуляции:

1 — подвод сырой воды; 2, 3 — воздухоотделители; 4 — ввод известкового молока; 5 — ввод раствора коагулянта; 6 — дырчатые смесительные перегородки; 7 — верхняя дроссельная решетка; 8 — сборный желоб; 9 — шламособорные трубы с окнами; 10 — сопла на вводе воды; 11 — шламоуплотнитель; 12 — дроссельная решетка шламоуплотнителя; 13 — сборный коллектор; 14 — регулирующая задвижка на отводе осветленной воды из шламоуплотнителя; 15 — подвод воды для промывки верхней дроссельной решетки; 16 — приемный карман; 17 — отвод осветленной воды; 18 — передливная труба; 19 — грязевик для тяжелого шлама; 20 — подача воды для промывки коллектора 13; 21 и 22 — задвижки на линии периодической продувки грязевика и шламоуплотнителя; 23 — непрерывная продувка шламоуплотнителя; 24—29 — пробоотборные трубки; 30 — воронка-короб для сливаемых проб; а — з — оптимальные расчетные скорости в аппарате, мм/с (числитель — при коагуляции, знаменатель — при известковании или коагуляции известковании соответственно): а 500 — 1000; б 30 — 50; в 800 — 1000/1200 — 1500; г 1 — 1,2/1,5 — 2,0; д 0,9 — 1,0/1,1 — 1,2; е 300; ж 0,7 — 0,8/0,9 — 1,0; з 100 — 300; при производительностях: 30, 85, 160, 320, 550 м³/ч; диаметр и высота осветлителя соответственно, м: 3,37 и 8,16; 4,9 и 12,5; 6,7 и 13,12; 9,2 и 14,38; 12,2 и 16,11

Рис. П.2. Фильтр осветлительный (механический) вертикальный однокамерный однопоточный ФОВ-1:

1 — фильтруемая вода; 2 — осветленная вода; 3, 4 — промывочная вода; 5 — спуск первого фильтрата и опорожнение фильтра; 6 — подвод сжатого воздуха; 7 — воздушник; 8 — бетонная подушка (при копирующих дренажах не применяется)

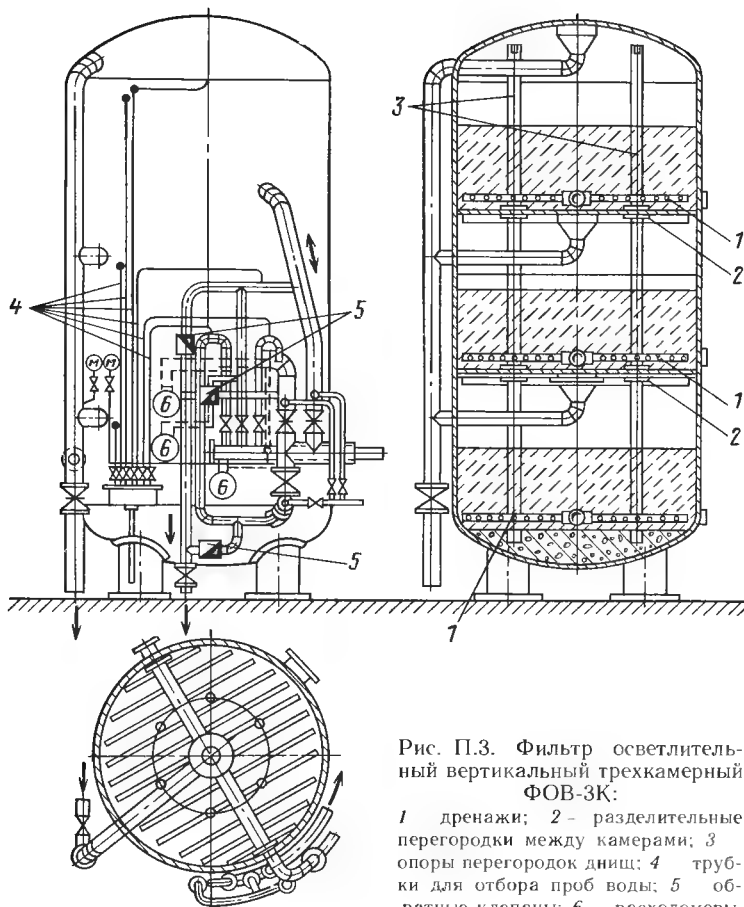


Рис. П.3. Фильтр осветлительный вертикальный трехкамерный ФОВ-ЗК:

1 — дренажи; 2 — разделительные перегородки между камерами; 3 — опоры перегородок днщ; 4 — трубки для отбора проб воды; 5 — обратные клапаны; 6 — расходомеры

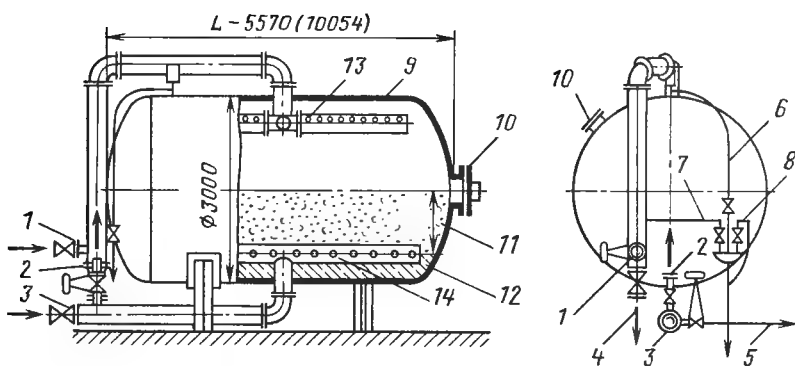


Рис. П.4. Осветлительный фильтр горизонтальный ФОГ:

1 — осветляемая вода; 2 — профильтрованная вода; 3 — промывочная вода; 4 — грязная промывочная вода; 5 — 1-й фильтрат; 6 — воздушник; 7, 8 — отбор проб воды до и после фильтра; 9 — корпус; 10 — лаз; 11 — фильтрующий материал; 12 — бетонная подушка; 13 — верхнее распредустройство; 14 — дренаж

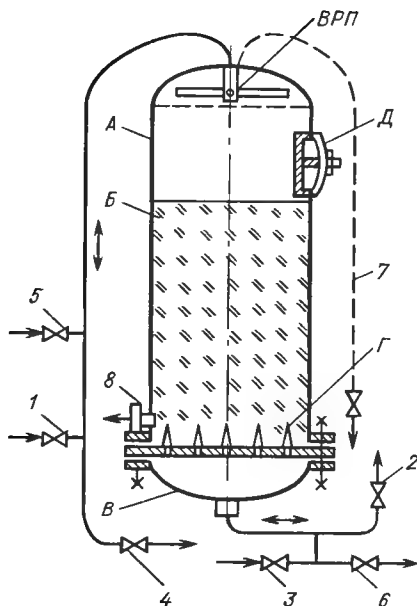


Рис. П.5.

Рис. П.5. Фильтр ионитный параллельноточный первой ступени ФИПа-1, диаметр 1 м:

1, 2 — вход и выход обрабатываемой воды; 3, 4 — вход и выход взрыхляющей воды; 5 — подвод регенерационного раствора; 6 — сброс воды и отработанного регенерационного раствора в канализацию; 7 — воздушник; 8 — штуцер для гидровыгрузки фильтрующего материала; А — корпус фильтра; Б — ионит; В — нижнее отъемное днище; Г — ложное дно с дренажными колпачками; ВРП — верхнее распределительное устройство; Д — лаз

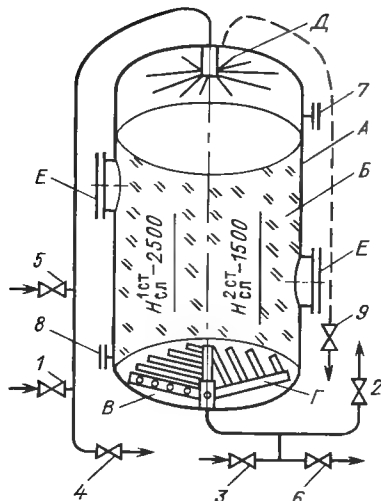


Рис. П.6.

Рис. П.6. Фильтр ионитный параллельноточный I и II ФИПа, диаметр 2—3,4 м, высота слоя ФИПа I 2,5 м, ФИПа II 1,5 м:

1—6 — задвижки; 7 — штуцер для гидрозагрузки фильтрующего материала; 8 — штуцер для гидровыгрузки материала; 9 — воздушник; А — корпус; Б — ионит; В — нижнее днище; Г — нижний дренаж (копирующий); Д — верхнее распределительное устройство; Е — лаз

Рис. П.7. Фильтр ионитный противоточный ФИПр:

1 — подвод обрабатываемой воды; 2 — отвод обработанной воды; 3 — подвод регенерационного раствора; 4 — сброс отработанного регенерационного раствора; 5 — подвод воды для предварительной отмывки; 6 — сброс отмывочной воды после предварительной отмывки; 7 — подвод воды для окончательной отмывки; 8 — сброс воды после окончательной отмывки; 9 — подвод воды для взрыхления верхнего слоя; 10 — сброс воды после взрыхления верхнего слоя; 11 — подвод воды для взрыхления всего фильтрующего материала; 12 — сброс воды после взрыхления всего фильтрующего материала; 13 — сброс первого фильтрата; 14, 15 — штуцера для гидрозагрузки и гидровыгрузки фильтрующего материала; А — корпус; Б — ионит; В — нижнее днище; Г — нижнее (копирующее) дренажное распределительное устройство; ВРП — верхнее распределительное устройство; Е — лаз; Ж — промежуточное (подповерхностное) дренажно-распределительное устройство

Рис. П.8. Фильтр сорбционный ФСУ с активированным углем:

1 — вход обрабатываемой воды (конденсата); 2 — выход обрабатываемой воды (конденсата); 3 — подача промывочной — взрыхляющей воды; 4 — сброс промывочной воды; 5 — спуск первого фильтрата и опорожнение фильтра; 6, 7 — штуцера для гидрозагрузки и гидровыгрузки активированного угля; 8 — воздушник; А — корпус; Б — активированный уголь; В — нижнее днище; Г — нижний дренаж (копирующий); ВРП — верхнее распределительное устройство; Е — лаз

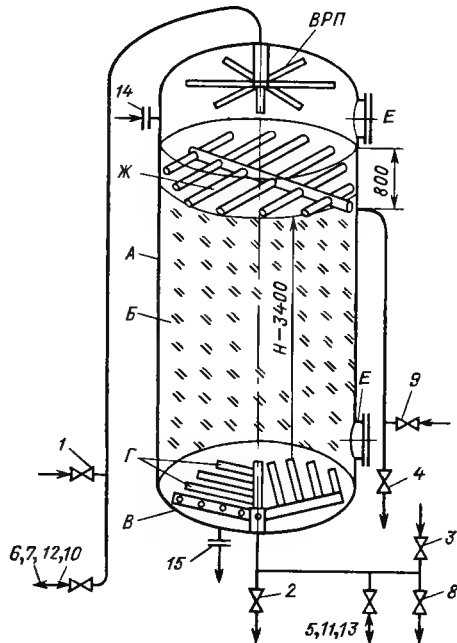


Рис. П.7.

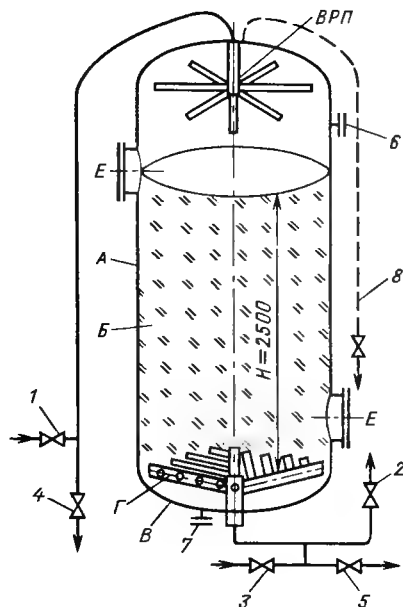


Рис. П.8.

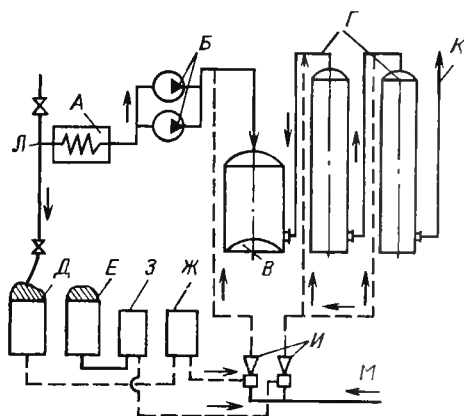
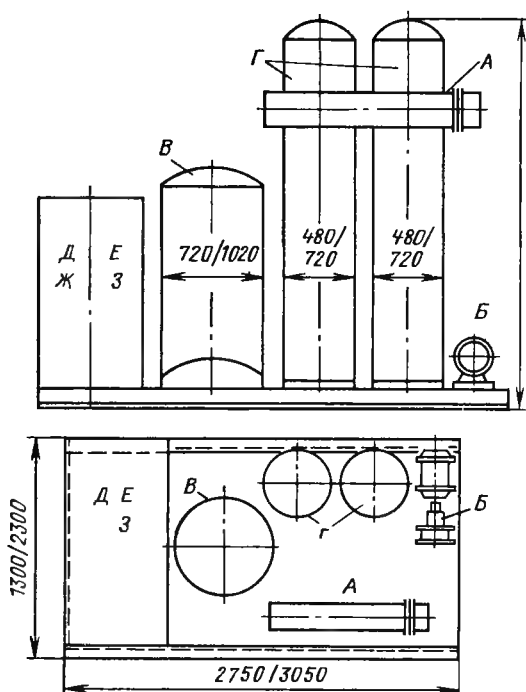


Рис. П.10. Блочная водоподготовительная установка (с осветлительными фильтрами) ВПУ-5-М и ВПУ-10-М:

А — подогреватель ($f=3,1 \text{ м}^2$); Б — насосы; В — осветлительный фильтр; Г — Na-катионитные фильтры I и II ступеней; Д — бак-склад для соли; Е — бак-склад для коагулянта; Ж — мерник для насыщенного раствора соли; З — мерник для насыщенного раствора коагулянта; И — эжекторы для подачи и разбавления растворов соли и коагулянта; К — обработанная вода; Л — исходная вода; М — рабочая водоежектором

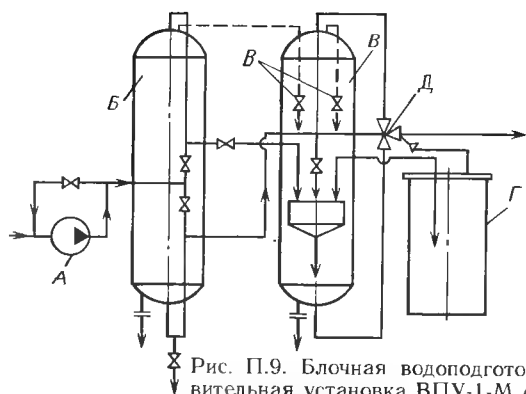
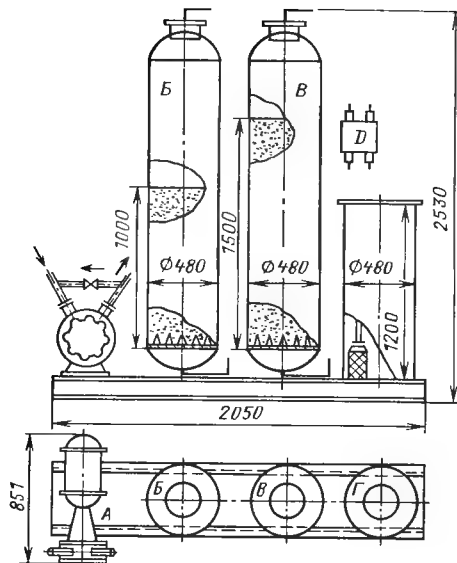


Рис. П.9. Блочная водоподготовительная установка ВПУ-1-М с осветлительным фильтром:

А - насос; Б - осветлительный фильтр ($D=480$ мм); В - Na-катионитный фильтр ($D=480$ мм); Г - бак-солерастворитель ($d=480$ мм; $V=0,2$ м³); Д - регулятор расхода; габариты: длина 2050 мм, ширина 857 мм, высота 2530 мм; производительность 1 м³/ч; жесткость исходной воды до 5 мг-экв/л

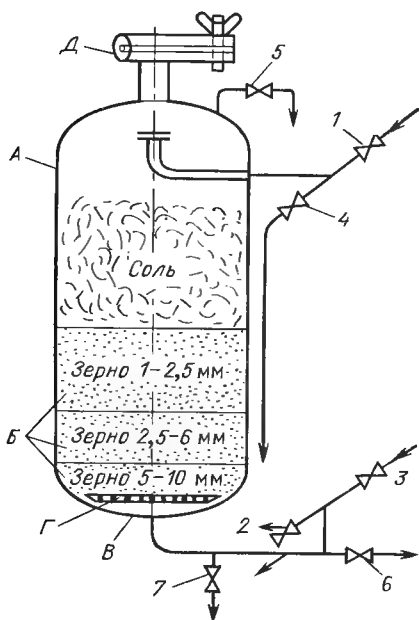


Рис. П.11.

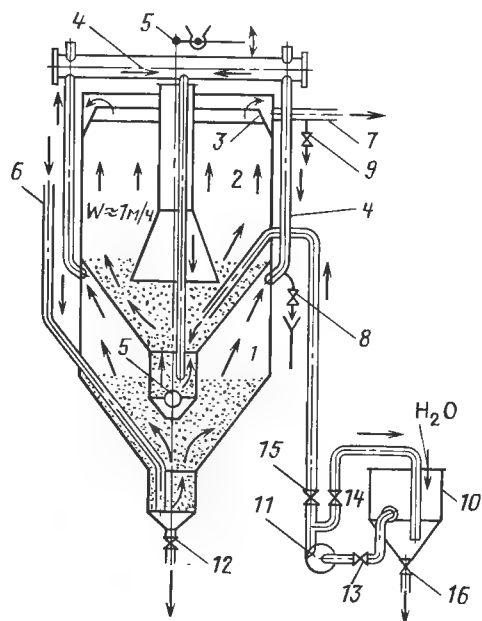


Рис. П.12.

Рис. П.11. Фильтр-солерастворитель СР:

1 - вода; 2 - солевой раствор; 3, 4 - взрыхляющая вода; 5 - воздушник; 6 - опорожнение; 7 - отбор проб; А - корпус; Б - фильтрующая загрузка, $d_{\text{сер}}=0,5-1$ мм, высота общая 500 мм; В - нижнее днище; Г - нижняя дренажная тарелка с отверстиями $d=5$ мм; Д - загрузочный люк

Рис. П.12. Двухкамерный сатуратор типа «Струя»:

1 - нижняя камера; 2 - верхняя камера; 3 - сборный желоб; 4 - подъемно-опускные трубы с коллектором; 5 - шаровый клапан с рычажным управлением; 6 - подвод воды от распределителя; 7 - отвод прозрачного насыщенного известкового раствора в осветлитель; 8 - отбор проб известкового раствора из верхней камеры; 9 - то же из нижней камеры; 10 - известковая мешалка для приготовления известкового молока; 11 - насос известкового молока; 12 - продувка нижней камеры; 13 - задвижки у насоса известкового молока; 16 - продувка известковой мешалки

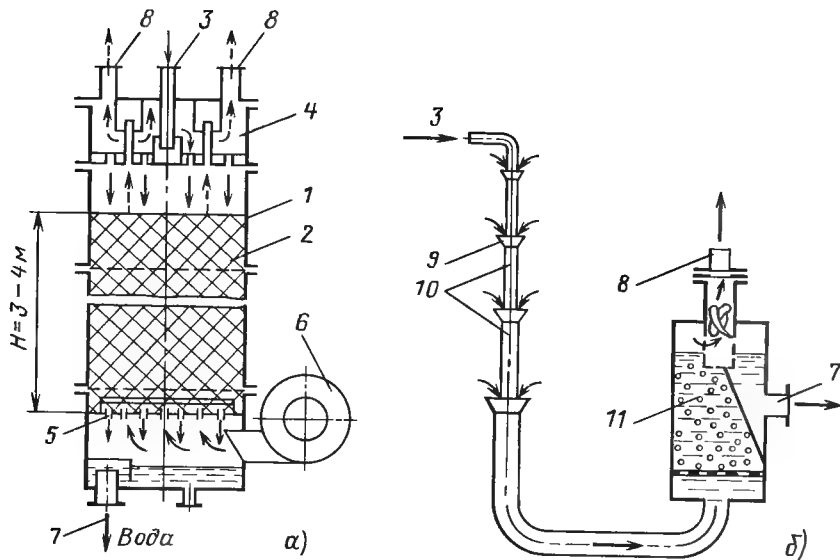


Рис. П.15. Декарбонизаторы с кольцами Рашига (а) и струйный (б):

1 — корпус пленочного декарбонизатора; 2 — насадка из фарфоровых колец Рашига; 3 — вода; 4 — распределительное устройство; 5 — поддерживающая решетка со сборно-распределительным устройством; 6 — вентилятор; 7 — слив с гидрозатвором; 8 — выход воздуха с CO_2 ; 9 — сопло для подачи воздуха; 10 — корпус струйного декарбонизатора; 11 — воздухоотделитель

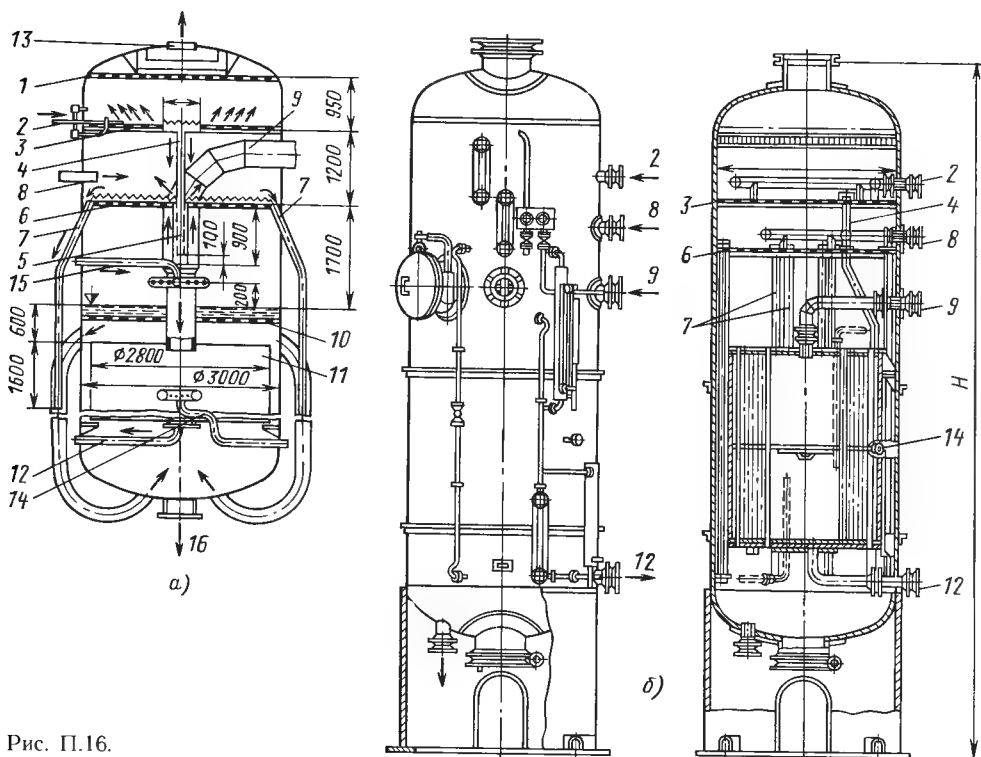


Рис. П.16.

Рис. П.16. Испарители:

a — ИСВ-965—2; *б* — И-120, И-250, И-350, И-585; 1 — дырчатый пароприемный потолок; 2 — подвод собственного дистиллята (конденсата) для промывки вторичного пара; 3 — верхний паропромывочный лист; 4 — труба, отводящая промывочную воду с верхнего листа; 5 — гидрозатвор; 6 — нижний паропромывочный лист; 7 — опускные трубы промывочной воды; 8 — питательная вода для промывки; 9 — греющий пар; 10 — затопленный дырчатый лист; 11 — греющая секция; 12 — конденсат греющего пара; 13 — вторичный пар; 14 — вентиляция парового объема греющей секции; 15 — питательная вода; 16 — продувка концентрата

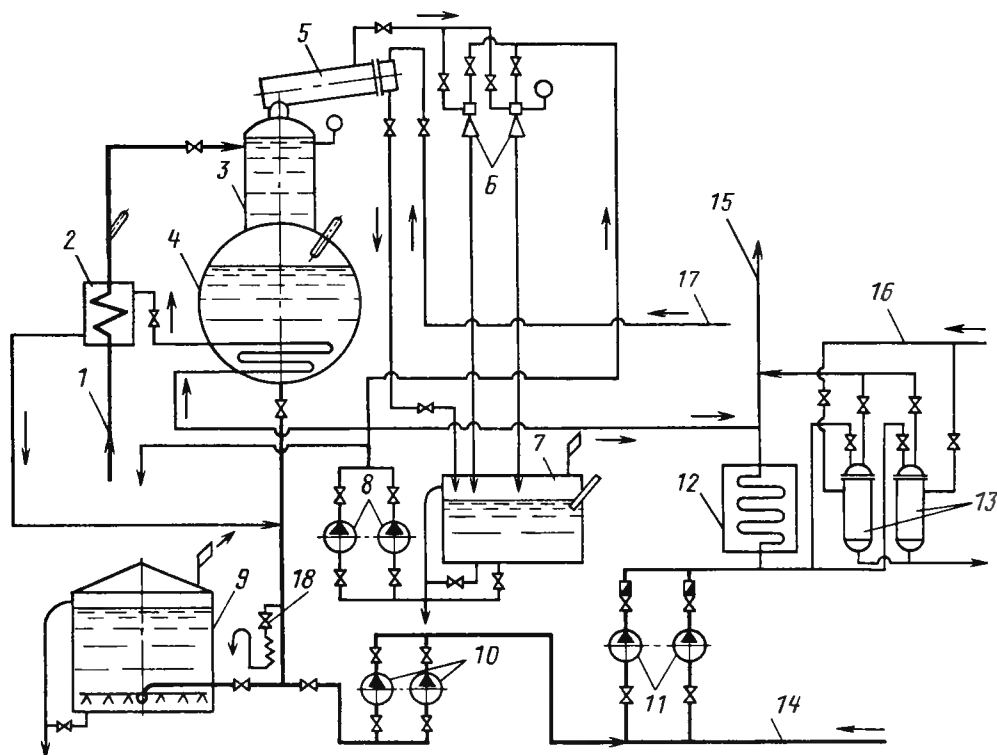


Рис. П.17. Схема вакуумной деаэрационной установки:

1 — подвод химобработанной воды; 2 — подогреватель; 3 — деаэрационная колонка; 4 — деаэрационный бак; 5 — охладитель выпара; 6 — эжекторы; 7 — бак рабочей воды эжекторов; 8 — насосы рабочей воды; 9 — бак-аккумулятор деаэрированной воды; 10 — подпиточные насосы; 11 — сетевые насосы; 12 — водогрейный котел; 13 — подогреватели сетевой воды (бойлеры); 14 — обратная линия; 15 — прямая линия; 16 — пар; 17 — охлаждающая вода; 18 — отбор проб

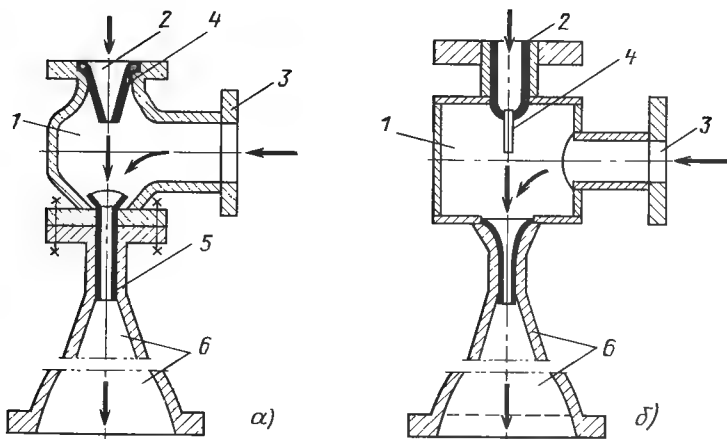


Рис. П.18. Водоструйные эжекторы к вакуумным деаэраторам по каталогу НИИЭинформэнер-гомаш:

а — ЭВ-1; б — ЭВ-3, ЭВ-6, ЭВ-12, ЭВ-25; 1 — корпус; 2 — вход рабочей воды; 3 — отсос паровоздушной смеси из охладителя выпара; 4 — сопло; 5 — горловина; 6 — диффузор

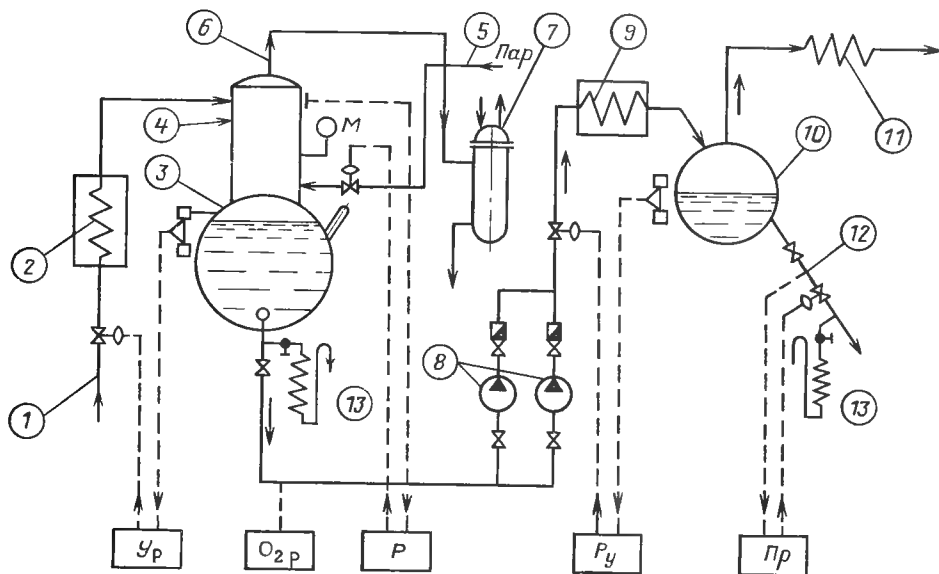
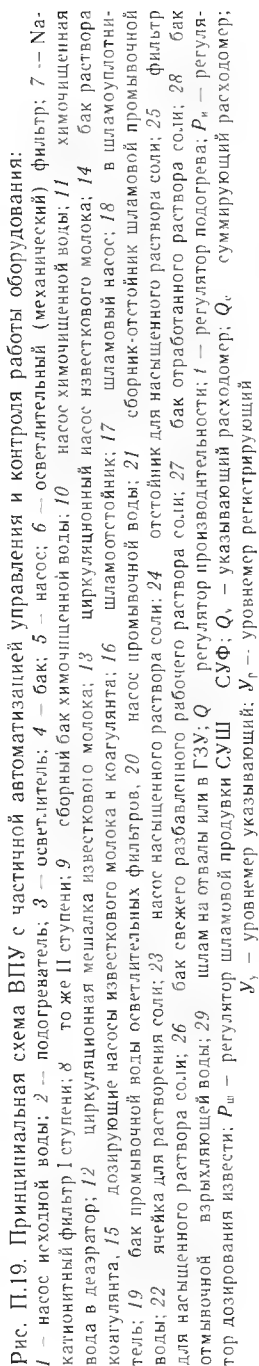


Рис. П.20. Схема автоматизации ведения водно-химического режима котельной и контроля за ним:

1 — подача воды от ВПУ; 2 — подогреватель; 3 — деаэратор; 4 — подача конденсата; 5 — подача пара; 6 — выпар; 7 — охладитель выпара; 8 — питательные насосы; 9 — экономайзер; 10 — котел; 11 — пароперегреватель; 12 — узел регулирования непрерывной продувки; 13 — отбор проб; Ур — уровнемер регулирующий; О_{2р} — кислородомер регистрирующий; Р — регулятор давления; Р_у — регулятор уровня (питания); Пр — регулятор продувки котла по электропроводимости (содержанию) продувочной воды



Т а б л и ц а П.14.1. Осветлители для коагуляции и известкования воды

Показатель	Типы осветлителей и их шифры			
	ЦНИИ-3			
	1	2	3	4
Вид обработки воды	Коагуляция			
Диаметр, м	4,6	7,3	9	12,5
Площадь сечения зоны осветления, м ²	16,0	41,0	62	122
Объем общий, м ³	6,5	208	330	607
Высота общая, м	5,5	6,5	7,06	8,03
Производительность, м ³ /ч	60	150	230	450
Скорость подъема в зоне зашламлиения, м/ч	4,3	4,35	4,3	4,38
Скорость подъема в зоне осветления, м/ч	3,75	3,65	3,7	3,7
Высота зоны осветления, м	1	1	1,1	1,35
Время пребывания воды в осветлителе, ч	1,08	1,39	1,4	1,35
Масса металла, т	—	—	—	—
Нагрузочная масса, т	> 70	> 225	> 260	> 670

Продолжение табл. П.14.1

Показатель	Типы осветлителей и их шифры				
	ЦНИИ-А (рис. П.1)				
	1	2	3	4	5
Вид обработки воды	Коагуляция — известкование или содоизвесткование				
Диаметр, м	3,37	4,9	6,7	9,2	12,2
Площадь сечения зоны осветления, м ²	8,9	18,8	35,2	72,5	118
Объем общий, м ³	45	140	266	505	921
Высота общая, м	8,16	12,5	13,12	14,38	16,1
Производительность, м ³ /ч	30	85	160	320	550
Скорость подъема в зоне зашламлиения, м/ч	6,6	7	7	7	7
Скорость подъема в зоне осветления, м/ч	3,35	3,2	3,25	3,17	3,4
Высота зоны осветления, м	2,0	2,05	2	2	2
Время пребывания воды в осветлителе, ч	< 1,5	< 2,33	< 2,31	< 2,2	< 2,3
Масса металла, т	4,5	13,5	23,0	35,0	58,3
Нагрузочная масса, т	49,5	153,5	289	540	97,7

Показатель	Типы осветлителей и их шифры						
	ВТИ (см. рис. 1.4)						
	63-И	100-И	160-И	250-И	400-И	630-И	1000-И
Вид обработки воды	Известкование, содоизвесткование. Коагуляция — известкование или содоизвесткование						
Диаметр, м	4,25	5,5	7	9	11	14	18
Площадь сечения зоны осветления, м ²	11,3	19,5	31	53	80	135	225
Объем общий, м ³	76	133	236	413	650	1240	2127
Высота общая, м	8,0	8,45	9,65	10,7	11,9	14,6	16,5
Производительность, м ³ /ч	63	100	160	250	400	630	1000
Скорость подъема в зоне зашламления, м/ч	5,65	5,45	5,21	5,0	5,15	5,17	4,8
Скорость подъема в зоне осветления, м/ч	4,52	4,35	4,18	4,0	4,12	4,1	3,9
Высота зоны осветления, м	1,9	1,9	1,95	2,1	2,2	2,3	2,5
Время пребывания воды в осветлителе, ч	1,2	1,33	1,47	1,65	1,63	1,97	2,13
Масса металла, т	8,0	13,55	19,35	32,5	55,0	88,7	147,0
Нагрузочная масса, т	84	170	280	480	705	1400	2350

Таблица П.14.2. Конструктивные и технологические показатели осветлительных фильтров (рис. П.2 — П.4)

Марка, завод-изготовитель	Диаметр D , м	Площадь F , м ²	Объем V , м ³	Высота общая H , м	Высота загрузки $h_{сл}$, м
---------------------------	--------------------	---------------------------------	-------------------------------	----------------------------	------------------------------------

Фильтры осветлительные однокамерные (обычные) (рис. П.2)

ФОВ-1 -0,6, БиКЗ	1	0,78	~ 1,75	2,124	1
ФОВ-1,4—0,6	1,4	1,54	~ 2,26	2,985	1
ФОВ-1,5—0,6	1,5	1,78		> 3,200	1
ФОВ-2—0,6, ТКЗ	2	3,14	~ 7,6	3,630	1
ФОВ-2,5—0,6	2,5	4,9	~ 11,0	> 3,500	1
ФОВ-2,6—0,6	2,6	5,3	~ 13,6	3,930	1
ФОВ-3—0,6	3	7,07	~ 22	4,315	1
ФОВ-3,4—0,6	3,4	9,1	~ 36	4,465	1

Фильтры осветлительные вертикальные двух- и трехкамерные (рис. П.3)

ФОВ-2к-3,4—0,6	3,4	9,1×2	36	5,52	0,9×2
ФОВ-3к-3,4—0,6	3,4	9,1×3	56	7,06	0,9×3

Фильтры осветлительные горизонтальные (рис. П.4)

ФОГ-3,0,6—5,5	3,0	15	39	4,630, $l=6,202$	1
ФОГ-3,0,6 -10,5	3,0	30	67,0	4,630, $l=10,472$	1

Марка, завод изготовитель	Объем загрузки $V_{сз}$, м ³	Масса металла, т	Нагру- зочная масса, т	Производи- тельность при $W =$ $= 10,0$ м/ч, м ³ /ч	Грязеёмкость, кг/фильтр	
					при фильтрации воды	
					необра- танной	обрабо- танной

Фильтры осветлительные однокамерные (обычные) (рис. П.2)

ФОВ-1 0,6, БикЗ	0,8	0,78	~4,0	10	0,6	1,0
ФОВ-1,4—0,6	1,6	1,26	~7,0	16	1,15	1,9
ФОВ-1,5 0,6	1,8	~1,6	~8,0	18	1,33	2,22
ФОВ-2 0,6, ТКЗ	3,14	2,0	~15,0	30	2,35	3,9
ФОВ-2,5—0,6	4,0	>3,0	~25	50	3,7	6,1
ФОВ-2,6—0,6	5,3	3,37	~28	55	4,0	6,6
ФОВ-3—0,6	7,07	4,44	~37	70	5,3	8,8
ФОВ-3,4 0,6	9,1	5,66	~50	90	6,8	11,2

Фильтры осветлительные вертикальные двух- и трехкамерные (рис. П.3)

ФОВ-2к-3,4—0,6	23,8	8,32	72	180	12,3	20,3
ФОВ-3к-3,4 -0,6	33,8	13,08	102	270,0	18,5	31,0

Фильтры осветлительные горизонтальные (рис. П.4)

ФОГ-3-0,6 5,5	19	8,34	63	105	11,3	19,0
ФОГ-3-0,6 -10,5	34,5	14,21	118	210	22,5	38,0

Примечания: Высота загрузки всех фильтров — 1 м. Общие показатели осветлительных однокамерных фильтров: рабочее давление 0,6 МПа, высота фильтрующего слоя 1000 мм, диаметр зерен 0,5–2,0 мм, насыпная масса кварца 1,7 т/м³, антрацита 0,9 т/м³, керамзита 1,3 т/м³, интенсивность промывки кварца 15 л/(с·м²), антрацита 8–10 л/(с·м²), продолжительность промывки кварца 6–10 мин, антрацита 10–15 мин, грязеёмкость 1–1,25 кг/м².

Таблица П.14.3. Конструктивные и технологические показатели ионитных и сорбционных фильтров

Марка, завод-изготовитель	Диаметр D , мм	Площадь F , м ²	Высота		Объем		Масса	
			общая H , мм	слоя ионита $h_{сз}$, м	фильтра общий V , м ³	ионит- ного слоя, м ³	метал- ла, г	нагру- зочная, т

Фильтры ионитные I степени (рис. П.5)

ФИПа I-0,7-0,6-На, СЗТМ	700	0,38	3000	2	1,1	0,8	0,57	3
ФИПа I-1,0-0,6-На	1000	0,78	3124	2	2,3	1,6	1,03	5
ФИПа I-1,0 0,6-Н, БикЗ	1000	0,78	3124	2	2,3	1,6	0,943	5
ФИПа I-1,4-0,6-Н	1400	1,54	3600	2	4,5	3,42	1,4	13
ФИПа I-1,4-0,6-На	1400	1,54	3600	2	4,5	3,42	1,4	13
ФИПа I-2,0-0,6, ТКЗ	2000	3,14	4000	1,8	11,7	5,7	2,9	15
ФИПа I-2,6-0,6	2600	5,3	4300	1,8	20	9,6	4,6	27
ФИПа I-3,0-0,6	3000	7,1	4450	1,8	29	12,6	5,5	41
ФИПа I-3,4-0,6	3400	9,1	4600	1,8	39	16,3	7,4	47

Фильтры ионитные II степени (рис. П.6)

ФИПа II-1,0-0,6Н, БикЗ	1000	0,78	2724	1,5	1,87	1,20	0,858	~3,5
ФИПа II-1,0-0,6На	1000	0,78	2724	1,5	1,87	1,20	0,91	~3,5
ФИПа II-1,4-0,6Н	1500	1,78	2985	1,5	3,58	2,66	1,59	~7
ФИПа II-1,4-0,6На	1500	1,78	2985	1,5	3,58	2,66	1,31	~7
ФИПа II-2,0-0,6, ТКЗ	2000	3,14	3235	1,5	7,6	3,8	2,51	13,1
ФИПа II-2,6-0,6	2600	5,3	3501	1,5	13,6	6,9	4,2	20
ФИПа II-3,0-0,6	3000	7,1	3775	1,5	17,0	9,4	5,6	30

Марка, завод-изготовитель	Диаметр D , мм	Площадь F , м ²	Высота		Объем		Масса	
			общая H , мм	слоя ионита $H_{сл}$, м	фильтра общий V , м ³	ионит- ного слоя, м ³	метал- ла, т	нагру- зочная, т

Фильтры катионитные, противоточные (рис. П.7)

ФИПа 2-0,6. ТКЗ	2000	3,14	6505	3,7+0,4	19	18,3	3,92	24
ФИПа 2,6-0,6	2600	5,3	6775	3,7+0,4	33	19,6	6,02	42
ФИПа 3-0,6	3000	7,1	6950	3,6+0,4	45	26,6	7,14	59
ФИПа 3,4-0,6	3400	9,1	6980	3,4+0,4	60	31	8,96	78

Фильтры сорбционные с активированным углем (рис. П.8)

ФСУ-2-0,6. ТКЗ	2000	3,14	—	2,5	10,7	7,85	2,47	—
ФСУ-2,6-0,6	2600	5,3	—	2,5	19,0	13,2	4,02	—
ФСУ-3-0,6	3000	7,1	—	2,5	26,0	17,8	5,20	—

Таблица П.14.4. Технические характеристики декарбонизаторов для подкисленной или Н-катионированной воды* с температурой 20—30 °С (рис. П.10) (по нормам Сантехпроекта) [14]

Производитель- ность, м ³ /ч	Диаметр корпуса, мм	Площадь поперечного сечения, м ²	Расход воздуха, м ³ /ч, при уделе- ном расходе 25 м ³ /м ³ воды	Карбонатная жесткость обрабатываемой воды J_k , мг-экв/л			
				4-6		6-8	
				Масса загруженного декарбониза- тора, кг*	Шифр декарбониза- тора	Масса загруженного декарбониза- тора, кг	Шифр декарбониза- тора
15	565	0,25	375	860 (920)	Б-230 (Б-240)	975 (1030)	Б-250 (Б-260)
25	730	0,417	625	1270 (1360)	Б-231 (Б-241)	1450 (1540)	Б-251 (Б-261)
50	1030	0,833	1250	2250 (2410)	Б-232 (Б-242)	2580 (2740)	Б-252 (Б-262)
75	1260	1,25	1880	3300 (3520)	Б-233 (Б-243)	3760 (4000)	Б-253 (Б-263)
100	1460	1,67	2500	4260 (4570)	Б-234 (Б-244)	4880 (5100)	Б-254 (Б-264)
125	1630	2,08	3190	5370 (5770)	Б-235 (Б-245)	6160 (6550)	Б-255 (Б-265)
150	1790	2,5	3750	6550 (7000)	Б-236 (Б-246)	7470 (7950)	Б-256 (Б-266)
200	2060	3,33	5000	8400 (9000)	Б-237 (Б-247)	9610 (10 230)	Б-257 (Б-267)
250	2315	4,17	6250	10 600 (10 350)	Б-238 (Б-248)	12 160 (12 825)	Б-258 (Б-268)
300	2520	5,0	7500	12 500 (13 400)	Б-239 (Б-249)	14 270 (15 180)	Б-259 (Б-269)

* Размеры и шифры без скобок относятся к $J_k=4\div5$, в скобках — к $J_k=6\div8$ мг-экв/л.

Таблица П.14.5. Блочные водоподготовительные установки (по каталогу НИИЭнформэнергомаш, 1987 г.) (рис. П.10)

Изготовитель: Монастырищенский машиностроительный завод (ММЗ)

Показатель	Тип установки		
	ВПУ-1М	ВПУ-5М	ВПУ-10М
Производительность, м ³ /ч	1	5	10
Давление исходной воды, МПа	0,4	0,6	0,6
Качество исходной воды	Жесткость < 5 мг-экв/л; сухой остаток < 350 мг/л; взвешенные вещества < 50 мг/л		
То же обработанной	Жесткость менее 20 мкг-экв/л; прозрачность по шрифту > 40 см; температура до 40 °С		
Установка:			
длина, мм	2060	2750	3050
ширина, мм	850	1300	2300
высота, мм	2530	3740	3960
масса металла, кг	760	2670	4080

Показатель	Тип установки		
	ВПУ-1М	ВПУ-5М	ВПУ-10М
Теплообменник:			
поверхность нагрева, м ²	—	3,1	3,1
производительность, м ³ /ч	—	5—10	5—10
давление внутри/снаружи, МПа	—	0,2/0,7	0,2/0,7
Осветлительный фильтр:			
диаметр, мм	480	720	1000
площадь фильтра, м ²	0,18	0,38	0,8
высота фильтрующего слоя, м	1000	900	900
объем фильтрующего слоя, м ³	0,18	0,34	0,76
масса загрузки, кг	0,14	0,27	0,58
фильтрующий материал	Антрацит, $d_{\text{зер}} = 0,5 \div 2,0$ мм		
Катионитные фильтры:			
число ступеней	—	1 — I ст., 1 — II ст.	1 — I ст., 1 — II ст.
диаметр, мм	480	450	700
площадь фильтрации, м ²	0,18	0,16	0,38
высота слоя, мм	1500	2500	2500
объем катионита, м ³	0,27	0,4	0,95
масса сухого катионита, т	0,19	0,28	0,7
материал	КУ-2	Сульфуголь	
Объем склада для соли, м ³	—	1,25	2,0
Объем мерника для соли, м ³	0,2	0,14	0,36
Насос центробежный, тип, количество	1,5 ВС, 1,3М — 1 шт.	2В — 1,6, 2 шт.	2,5В — 18, 2 шт.
Производительность, м ³ /ч	—	6	11
Напор, МПа	—	0,54	0,60

Таблица П.14.6. Солерастворители (изготовитель — СЗТМ) (рис. П.11)

Показатель	Диаметр солерастворителя, мм			
	426	480	720	1020
Шифр	CP-0,125-0,4	CP-0,2-0,45	CP-0,4-0,7	CP-1,0-1,0
Площадь, м ²	0,134	0,17	0,40	0,8
Высота, мм	1350	1792	1640	1810
Полезный объем солерастворителя, м ³ , или масса загружаемой соли, кг	0,125/125	0,2/200	0,4/400	1,0/1000
Масса металлоконструкции, кг	151	152	310	502
Высота фильтрующей загрузки, мм	460	480	560	500
Производительность при скорости фильтрации 10 м/ч, м ³ /ч	1,25	1,8	3,8	7,85
Рабочее давление	0,6 МПа — 6 кгс/см ² ; диаметр зерен верхнего слоя загрузки 1—2,5 мм			

Таблица П.14.7. Баки для хранения серной кислоты

Показатель	БНХ-16	БНХ-32
Диаметр, мм	2000	2600
Длина, мм	5400	6384
Объем, м ³	16	32
Масса, кг	3840	4874
Давление, МПа	0,6	

Таблица П.14.8. Баки-вытеснители для крепкой серной кислоты

Показатель	БНВ-0,5	БНВ-1,6
Диаметр, мм	800	1000
Высота, мм	1430	2565
Объем, м ³	0,5	1,6
Масса, кг	273	628

Таблица П.14.9. Характеристика насосов-дозаторов завода «Ригахиммаш»

Марка	Мощность двигателя, кВт	Рабочая длина хода плунжера, мм	Диаметр плунжера, мм	Масса с электродвигателем ВАО, кг
НД-40/25	0,27	14—16	25	45
НД-63/16	1,1	14—16	32	43/55
НД-100/10	1,1	14—16	40	43/55
НД-400/16	1,1	15—60	40	103
НД-630/10	1,1	15—60	50	107
НД-1000/10	2,2	15—60	60	130
НД-1600/10	3,0	15—60	80	221
НД-2500/10	3,0	15—60	100	227
НД-40/160	1,1	15—60	12	108
НД-63/100	1,1	15—60	16	109
НД-100/63	1,1	15—60	20	109
НД-160/25	0,6	15—60	32	78

Примечание. В шифре: числитель — максимальная производительность, л/ч, знаменатель — развиваемый напор, кгс/см². Минимальная производительность 25 % максимальной. Последние четыре марки применяются для ввода реагентов в котловую воду.

Таблица П.14.10. Конструктивные и технологические характеристики сатураторов двойного насыщения типа «Струя» (рис. П.12) (по нормам Сантехпроекта—СТП, 1979 г.)

Номер по нормам СТП	Диаметр, мм	Площадь, м ²	Высота, мм	Объем, м ³	Масса металла, т	Нагрузочная масса, т	Производительность, г-экв/ч СаО при 20 °С	Производительность ВПУ (при дозе извести СаО-5 мг-экв/л), м ³ /ч	Расход сухой извести на одну зарядку сатуратора, кг
6	2670	5,6	8395	35	4,52	43,1	210	23—40	100—150
7	3000	7,07	9370	50,7	6,185	62,0	267	30—50	120—200
8	3300	8,55	9492	61,0	5,581	72,75	320	35—60	150—250
9	4010	12,63	10 884	102	9,28	121,6	480	50—95	200—400
10	4590	16,55	11 350	138	12,3	164,3	620	70—110	300—500
11	5345	22,35	12 090	194	15,0	209,0	840	90—150	400—700
12	6010	28,37	12 650	246	18,5	264,5	1070	110—200	500—800
13	6676	35,0	13 200	310	22,12	363,0	1320	150—240	700—1000

Примечание. Скорость подъема насыщенного раствора извести в сечении верхней камеры сатуратора при 20 °С около 1 м/ч.

Т а б л и ц а П.14.11. Трубочные известегасильные аппараты МИКА

Показатель	Завод-изготовитель		Показатель	Завод-изготовитель	
	Уралхиммаш	Прилуцкий ЗСТ, г. Прилуки		Уралхиммаш	Прилуцкий ЗСТ, г. Прилуки
Производительность, т/ч В. мм	1 2000	2 1050	H, мм L, м Масса, кг	1900 5320 2672	1500 . 790

Т а б л и ц а П.14.12. Мешалки для реагентов
[завод-изготовитель — ПО «Красный Котельщик» (ТКЗ)] (рис. П.13 и П.14)

Назначение	Тип	Диаметр, мм	Общая высота, мм	Объем, м ³	Масса, кг	Нагрузочная масса, т
Для кислых реагентов	МГК-1 МГК-2	1200 1600	1695 1926	1 2	336 500	1,4 2,5
Для щелочных реагентов и извести	МГИ-1 МГИ-2	1200 1600	1645 1860	1 2	270 430	1,3 2,5
Циркуляционные для известкового молока	МГИ-4 МГИ-8 МГИ-16	1600 2000 2600	3800 4600 5400	4 8 16	645 1310 2610	4,7 9,5 16,6

Т а б л и ц а П.14.13. Важнейшие технические характеристики испарителей типа И
(по ГОСТ 10731—71 и каталогу НИИЭнформэнергомаш) (рис.П.16)

Тип	Число/длина труб греющей секции, мм	Производительность, т/ч				Габаритные размеры корпуса, мм		Масса, кг
		номи- нальная по вторич- ному пару	максимальная при давлении вторичного пара, МПа			Высота	Внутренний диаметр и толщина стенки	
			1,6	0,6	0,12			
И-120-1-(2); О-; М-; ОП-; МП-	902/1590	6— 9 10—18	18 18	18 18	10 10	9926	2000×16	15 985
И-250-1-(2); О-; М-; ОП-; МП-	1763/1625	11 12—18 18 27	24 36	24 24	12 12	10 645	2804×20	29 774
И-350-2; О-; М-	1764/2290	18	—	—	—	10 900	2812×16	29 406
И-600-1 (2); О-; М-; ОП-; МП-	1764/3590	18 20 32 32—48	— 60	— 40	— 20 20	12 600	2804×20	44 456
И-1000-1 (2); О-; М-; ОП-; МП-	2726/3590	43 50 35—59 59—84	— — 100	— 75 75	35 35 35	12 795	3404×22	61 863(61 428)

П р и м е ч а н и я: 1. Первая цифра после буквы И — поверхность нагрева по внутреннему диаметру греющих трубок, м²; вторая цифра и третья (в скобках) — число ступеней промывки пара.

2. Буква О означает, что аппарат может быть использован в качестве паропреобразователя, М — то же при двухступенчатой промывке пара, ОП и МП — то же при повышенном давлении пара; диаметр трубок 32×2,5 мм; разность температур насыщения между первичным и вторичным паром определяется режимом работы испарителей (обычно 8— 20 °С).

Пробное давление на 25—30 % выше номинального.

Т а б л и ц а П.14.14. Деаэраторы термические по ГОСТ 16860—77

Вакуумные	Атмосферные
Давление 0,075—0,5 кгс/см ² или 0,0075 – 0,05 МПа абс.; $t = 40 \div 80$ °С Подогрев на 15—25 °С* Расход выпара < 5 кг/т Обозначение: Деаэратор ДВ—800 ГОСТ 16860—77 Марка**: ДВ-5; ДВ-15; ДВ-25; ДВ-50; ДВ-75; ДВ-100; ДВ-150; ДВ-200; ДВ-300; ДВ-400; ДВ-800; ДВ-1200; ДВ-1600; ДВ-2000; ДВ-2400	Давление 1,2 кгс/см ² абс. или 0,12 МПа; $t = 104 \div 107$ °С Подогрев на 10 -50 °С* Расход выпара < 1,5 кг/т Обозначение: Деаэратор ДА—300/75 по ГОСТ 16860—77 Марка***: ДА-1/1; ДА-3/1,5; ДА-5/2; ДА-15/4; ДА-25/8; ДА-50/15; ДА-100/30; ДА-200/50; ДА-300/75

* Подогрев - разность между температурой насыщения при давлении в деаэраторе и средней температурой потоков поступающей воды.

** Цифра при марке обозначает его производительность (т/ч) и равна сумме всех расходов воды и пара.

*** Знаменатель — при марке. Общий объем деаэраторного бака. Полезный объем деаэраторного бака = 85 % общего объема.

Т а б л и ц а П.14.15. Характеристика работы термических деаэраторов

Остаточное содержание кислорода O ₂ , мкг/кг			Остаточное содержание свободной углекислоты CO ₂ , мг/л			
Тип	Исходное содержание кислорода, мг/кг	Остаточное содержание кислорода, мкг/кг	Тип деаэратора	Исходное содержание свободной CO ₂ , мг/кг	Бикарбонатная щелочность, мг-экв/кг	Остаточное содержание CO ₂ , мг/кг
ДВ	Соответствует насыщению при $t_{\text{исх}}$ воды	50	ДВ, ДА, ДП	20	> 0,7	Отсутствие
ДА, ДП		20	ДА, ДП	10	0,4 – 0,7	Отсутствие
			ДВ	10	0,4 – 0,7	0,5
ДП	1 мг/кг	10	ДА, ДП	5	0,2—0,4	Отсутствие
			ДП	1	< 0,2	0,5

П р и м е ч а н и я: I. Внутри деаэраторные элементы (ситы, насадки) должны быть изготовлены из коррозионно-стойкой стали.

Трубки охладителей выпара изготавливаются из коррозионно-стойкой стали, сплава МНЖ-5-1 или латуни ЛО 70-1.

2. Устойчивая работа деаэратора при $Q = 30 \div 100$ %; $Q_{\text{мин}} = 30$ %; $Q_{\text{макс}} = 120$ %, при $Q > 50$ т/ч; $Q_{\text{мин}} = 15$ %, при этом подогрев 40 – 70 °С.

**Т а б л и ц а П.14.16. Размеры вакуумных деаэраторов
(по каталогу НИИЭнформэнергомаш) (рис. П.18)**

Марка	Колонка без бака			Поверхность охладителя выпара, м ²	Номер водяных эжекторов для данного деаэратора
	Диаметр и толщина стен, мм	Высота общая, мм	Масса металла, кг		
ДВ-5	600×8	2400	475	2	1 или 2
ДВ-15	700×8	2400	534	2	1 или 2
ДВ-25	800×8	2500	680	2	2 или 3
ДВ-50	1000×8	2600	1094	8	2 или 4

Марка	Колодка без бака			Поверхность охладителя выпара, м ²	Номер водяных эжекторов для данного деаэратора
	Диаметр и толщина стен, мм	Высота общая, мм	Масса металла, кг		
ДВ-75	1000×8	2600	1094	8	3 или 5
ДВ-100	1200×8	2600	1375	8	3 или 5
ДВ-150	1400×10	2670	1910	16	4 или 6
ДВ-200	1600×10	2670	2225	16	4 или 6
ДВ-300	2000×10	2730	2991	24	5 или 7
ДВ-400	3000×16	3992	7110	1*	5 или 7
ДВ-800	3000×16	3968	12 110	1*	6 или 8
ДВ-1200	3000×16	6000	17 310	2*	7 или 9

* Паровой эжектор, шт

Примечание. Цифра при марке означает производительность, т/ч.

Таблица П.14.17. Водяные эжекторы

Номер	Производительность, кг/ч		Рабочая вода при 15 °С	
	Сухой воздух	Парогазовая смесь	Давление, МПа	Расход, т/ч
1	—/1	—/60	0,5	4,15
2	1/3	60/200	0,5	12,5
3	2/6	100/400	0,5	25
4	3/12	200/800	0,5	50
5	6/25	400/1600	0,5	100
6	12/50	800/3200	0,5	210
7	24/75	1600/4800	0,5	310
8	48/150	3200/9000	0,5	615
9	60/200	5000/14 400	0,5	830

Примечание. В числителе — при абсолютном давлении парогазовой смеси на всосе эжектора 0,06 кгс/см² (0,006 МПа), в знаменателе — то же при давлении 0,2 кгс/см² (0,02 МПа)

Таблица П.14.18. Размеры атмосферных термических деаэраторов по каталогу НИИЭнформэнергомаш «Теплообменное оборудование»

Марка	Колодка без бака			Марка	Колодка без бака		
	Диаметр и толщина стенки, мм	Высота общая, мм	Масса металла, кг		Диаметр и толщина стенки, мм	Высота общая, мм	Масса металла, кг
ДА-1	1100×8	1665	630	ДА-75	1200×6	1330	520
ДА-3	1100×8	2105	340	ДА-100	1200×6	1354	520
ДА-5	530×8	1093	194	ДА-150	1400×6	1608	750
ДА-10/15	700×8	1010	265	ДА-200	1410×6	1610	750
ДА-25	800×8	1010	370	ДА-300	1800×6	1728	1120
ДА-50	1200×8	1330	520				

Примечание. Цифра при марке означает производительность, т/ч.

Таблица П.14.19. Баки для атмосферных деаэраторов

Марка	Объем V , м^3	Диаметр D , мм	Длина L , м	Масса металла, кг*	Масса нагрузочная при 0,95V	Поверхность охладителя выпара, м^2
ДА-5	4	1200	4396	1736	6,437	2
ДА-10	7,5	1600	4700	2815	11,615	2
ДА-15	10	1600	6154	3285	15,085	2
ДА-25 }	15	2000	6104	4630	23,330	2
ДА-50 }						
ДА-50 }	25	2200	8204	6514	36,214—37,914	8
ДА-75 }						
ДА-75	35	2200	11 704	10 052	51,252	8
ДА-100	35	2200	11 704	8734	49,934	16
ДА-100 }	50	3000	8852	11 441	68,941	16
ДА-150 }						
ДА-150 }	75	3000	13 052	15 656	103,856	24
200 и 300 }						
ДА-200 }	100	3200	15 152	19 670	137,670	24
ДА-300 }						

* Без деаэрационной колонки.

Таблица П.14.20. Некоторые характеристики чугунных секционных водогрейных котлов

Марка	Число секций	Поверхность нагрева котла, м^2	Объем котла, м^3	Секции	
				Поверх- ность, м^2	Объем, м^3
Универсал					
5М	14—38	15,2—42,7	0,23 0,59	1,12	0,02
6М	18—38	19,8 45,0	0,306—0,672	1,1	0,0226
6 одинарный	9—17	8,4—16	0,153—0,255	1,1	0,0226
6 двойной	18—47	19,8—45		1,11	0,0226
Энергия-3М	18—34	36,8 -73,0	0,54—1,01	2,3	0,03
Тула-3	18—24	28—53	0,605—1,145	1,5	0,0335
Минск-1	18—40	20,8—46,5	0,53—0,956	1,25	0,039
Братск-1	30	35	—	—	—
ВНИИСТО-М4					
малая модель	4 7	0,54 -0,99	0,0157—0,0222	0,15	—
большая модель	4—12	1,18—3,74	0,0272—0,053	0,32	—
Э5-Д2 односторонний	10—18	14 -26,8	0,3—0,54	1,65	—
Э5-Д2 двусторонний	22—38	34—59	0,53—1,145	1,65	—
КЧ-1	8—20	5,6—14,0	0,130—0,330	0,7	—
КЧ-2	14—40	15,4—44	0,38—0,8	1,1	—
КЧ-3	20 36	20,6 -34,4	0,604—1,07	1,5	—

Таблица П.14.21. Некоторые характеристики стальных водогрейных котлов

Марка		Давление, МПа	Расход воды нормальный/ пиковый, $\text{м}^3/\text{ч}$	Тепло- произво- дительно- сть, МВт/ч	Поверхность нагрева, м^2		Водяной объем котла, м^3
					радиа- ционная	конвек- тивная	
КВ-ГМ, КВ-ТС,	4	0,8—1,4	50	4,65	38	88,7	
	6,5	1—2,5	80	7,56	49	156	—
	10	1—2,5	123	11,65	73,6	221	—

Марка	Давление, МПа	Расход воды нормальный/ пиковый, м ³ /ч	Тепло- произво- дитель- ность, МВт/ч	Поверхность нагрева, м ²		Водяной объем котла, м ³	
				радиа- ционная	конвек- тивная		
КВР, КВС, КВТК, БКЗ	20	2 2,5	247	23,3	106	406	—
	30	2,5	370	36	126	592	—
	50	1—2,5	625/(1230)	58,2	245	1279	—
	100	1—2,5	1230/(2450)	116,3	325	2385	—
	180	2,5	—	209	—	—	—
ПТВМ-30 М	1—2	435	40	108	693	20	—
ПТВМ-50	—	625/(1200)	—	138	1110	30	—
ПТВМ-100	—	1250/(2140)	—	224	2960	60	—
ПТВМ-180	0,8—2,5	4220	209	479	5500	100	—
ТВГМ-30	—	375/(750)	—	108	635	—	—
ТВГ (ИИГ)-0,75	—	—	—	—	—	—	—
ТВГ (ИИГ)-1,5	—	—	—	32	28,4	1,1	—
ТВГ (ИИГ)-2,5	—	—	—	34	45	—	—
ТВГ (ИИГ)-4	—	54	—	80,4	80	0,8—1,4	—
ТВГ (ИИГ)-8	-	104	—	140	142	0,814	—

Примечание. Цифра после букв шифра — теплопроизводительность, Гкал/ч. Максимальная температура подогрева сетевой воды 150 °С

Таблица П.14.22. Паровые барабанные котлы

Марка		Поверхность нагрева, м ²		Объем котла, м ³	
по ГОСТ	заводская	радиа- ционная	конвектив- ная	водяной	паровой
Е-1-0,9-Г	—	17,1		0,39	0,35
Е-1-0,9-Ж	—	17,1		0,39	0,35
Е-1,5-1,4-ГМ	ДКВр-2,5	17,7	73	4,0	1,57
Е-4-1,4-ГМ	ДКВр-4	21,4	116,9	5,55	2,05
Е-6,5-14-ГМ	ДКВр-6,5	27,9	197	7,8	2,55
Е-10-14-ГМ	ДКВр-10	47,9	229	9,11	2,61
—	ДКВр-20	51,3	357	10,5	1,84
—	ДКВр-10	34,5	176,5	7	1,45
Е-2,5-14 Р	КЕ-2,5-14-С	19,8	66,5	4,0	1,5
Е-4,0-14 Р	КЕ-4-14-С	20,75	94,3	4,9	1,57
Е-6,5-14 Р	КЕ-6,5-14-МГ, КЕ-6,5-14-С	30,7	150,0	7,6	2,05
Е-10-14 Р	КЕ-10-14-МТ, КЕ-10-14-С	33,0	207	9,5—10,0	2,5—3,0
Е-25-14 Р	КЕ-25-14 С (250)	90	400	15,8	4,2—4,6
Е-10-24 Р	КЕ-10-24-С	30	200	9,5	2,5
Е-25-24 Р	КЕ-25-24-С (250)	91	400	15,8	4,2 4,6
Е-4-14-ГМ	ДЕ-4-14-ГМ	21,84	45,09	4,65	—
Е-6,5-14-ГМ	ДЕ-6,5-ГМ	28	60 63	5,6	—
Е-10-14-ГМ	ДЕ-10-14-ГМ	39	100—110	8,32	—
Е-16-14-ГМ	ДЕ-16-14-ГМ	8,13	144—154	13,3	—
Е-25-14-ГМ	ДЕ-25-14-ГМ	60,5	200 210	16,5	—
Е-10-24-ГМ	ДЕ-10-24-380-ГМ	39	100—110	8,32	—
Е-16-24	ДЕ-16-24 (250)	48	144—150	13,3	—
Е-25-24-380	ДЕ-25-24 (380)	60	200—210	16,5	—
Е-25-24-380	ДЕ-25-24 (380)	61,7	161,5	16,5	—

Примечания: 1. Первая цифра после буквы-шифра — паропроизводительность, т/ч, вторая — давление, МПа, третья, при наличии перегрева пара, — температура, °С, последняя — вид топлива и топки: Т — твердое, Г — газ, М — мазут, МТ — многотопливные котлы.

2. Диаметры барабанов котлов ДКВр 1000 мм, толщина стенок при $p=1,3$ МПа 13 мм, при $p=2,4$ МПа 20—22 мм. Температура пара при $p=1,3$ МПа насыщенного 194 °С, перегретого 370 °С, при $p=3,9$ МПа насыщенного 250 °С, перегретого 440 °С

Таблица П.14.23. Паровые котлы на давление 4 МПа

Марка		Паропроизводительность, т/ч	Объем, м ³	
по ГОСТ	заводская		водяной	паровой
Е-35-40-ГМ	БГМ-35М	35—45	21,2	—
Е-35-40	Т-35-40, Б-35-40, К-35-40	35—45		
Е-50-14-ГМ	ГМ-50-4, ГМ-50-1 (20)	50		
Е-50-ГМ	БМ-35-РФ, ГМ-50-1	50		
Е-50-14	К-50-40/14	50		
Е-75-40-КМ		50		
Е-75-40-ГМ	БКЗ-75-39-ГМ	75		
Е-75-40	БКЗ-75-39-ФБ	75		
Е-75-40-Ж	БКЗ-75-39-ФБЖ	75		
	ЦКТИ-75-39 Ф	75		

Таблица П.14.24. Газотрубные котлы-утилизаторы теплоты отходящих газов

Марка	Количество охлаждаемых газов, м ³ /ч	Поверхность нагрева котла, м ²	Паропроизводительность, т/ч
Г-250	16 000	250	3,2
Г-250 П	16 000	250	3,1
Г-345	40 000	345	8,1
Г-345 П	40 000	345	7,9
Г-145	8000	145	4,7
Г-330 Б	15 000	330	8,6
Г-445	25 000	445	14,8
Г-660 Б	35 000	660	21,5
Г-1030	50 000	1030	31
В-330 Б	40 000	330	4
В-460 Б	60 000	460	6,6
Г-550 П	56 000	550	11,6

Примечание. Горизонтальные, газотрубные (кроме В-вертикальных) на горячих отходящих, инертных газах не включены в технологическую схему обслуживаемого агрегата (черная и цветная металлургия, химия и др.).

Диаметры барабанов типов Г-250, 345, 330, 445, 660 Б 2400 мм; Г-145 1600 мм, Г-1030—2800, В-330 Б и В-460 Б 1200 мм, Г-550 П 2400 мм.

Котлы Г-250 П, Г-345 П и Г-650 П вырабатывают перегретый пар с температурой 240—260 °С, остальные котлы — насыщенный пар с абсолютным давлением 1,4 МПа и температурой 194 °С.

Таблица П.14.25. Конвективные водотрубные котлы-утилизаторы

Марка	Количество охлаждаемых газов, м ³ /ч	Поверхность нагрева котла, м ²			Паропроизводительность, т/ч	Давление, МПа	Температура пара, °С
		водяной экономайзер	испарительная	пароперегревательная			
КУ-40-1	40 000	185	372	43,5	13 12,9	1,8 4,5	375 385
КУ-60-2	60 000	247	586	70	13,8—19,9 12,8—19	1,8 4,5	340—370 370—392
КУ-80-3	80 000	370	860	87	18,4—26,9 17,3—25,8	1,8 4,5	339—360 365—385

Марка	Количество охлаждаемых газов, м ³ /ч	Поверхность нагрева котла, м ²			Паропроизводительность, т/ч	Давление, МПа	Температура пара, °С
		водяной экономайзер	испарительная	пароперегревательная			
КУ-100-1	100 000	460	860	110	23,2—33,9	1,8	339—360
КУ-100-Б-1	100 000	497	592	137	17,3—32,5	1,8	348—395
КУ-125	125 000	615	1279	144	27,4—29,4 40,8—42,4	1,8 4,5	341—360 366—385
КУ-150	150 000	—	—	—	50,5	4,5	393
УЭЧМ	—	130	772	—	8,0	1,3	Н-191
ЦП-60-С-45*	—	—	—	410	40,0	4,5	445
ЦП-60-С-19*	—	—	—	410	40,0	1,9	380

* Центральный (автономный) пароперегреватель.

Примечание. КУ — конвективные, с горизонтальными пакетами труб, $d=32 \times 3$, с принудительной циркуляцией. У всех КУ диаметры барабанов 1500 мм, сепарационные устройства — циклоны. Предназначены для использования теплоты отходящих газов: мартеновских, методических, обжиговых печей и других агрегатов. Не входят в схему основного металлургического агрегата.

Таблица П.14.26. Наиболее употребительные на ВПУ центробежные насосы (по каталогу № 121 ПО «Архиммаш», 1985 г.)

Типоразмер насоса	Диаметр рабочего колеса, мм	Развиваемый напор H , м	Производительность Q , м ³ /ч	Мощность электродвигателя N , кВт
К-8/18	125	18	8	1,5
К-8/18а	115	15	7,4	
К-8/18б	105	12	6,7	
К-20/18	129	18	20,0	2,2
К-20/18а	118	15	16,8	
К-20/18б	106	12	15,1	
К-20/30	160	30	20	4,0
К-20/30а	148	25,8	18,5	
К-20/30б	132	19,5	16,5	
К-45/30	168	30	45	7,5
К-45/30а	143	22,5	35	
К-45/55	218	55	45	15
К-45/55а	195	41,5	40	11
К-90/20	145	20	90	7,5
К-90/20а	135	18,2	70	
К-90/35	174	35	90	15
К-90/35	163	28,6	85	11

Типоразмер насоса	Диаметр рабочего колеса, мм	Развиваемый напор H , м	Производительность Q , м ³ /ч	Мощность электродвигателя N , кВт
К-90/55 К-90/55а	218 200	55 43	90 90	22 18,5
К-90/85 К-90/85а	272 250	85 76	90 85	45 37
К-160/20 К-160/20а	— 240	20 15	160 150	15 11
К-160/30 К-160/30а К-160/30б	328 310 290	30 28,6 22	160 140 140	30 22 18,5
К-290/18 К-290/18а	260 250	18 15,5	290 260	22 18,5
К-290/30 К-290/30а	315 310	30 24	290 250	37 30
Насосы центробежные из специальных коррозионно-стойких сплавов				
Х-3/40	174	40	3	4
Х-8/18*	132 120 110	18 14,5 11	8	3
Х-8/30*	158 142 126	30 24 18,5	8	4
Х-8/60*	165 145 130	60 50 41	8	} 18,5 15
Х-8/90*	164 150 132	90 80 60	8	22—18,5
Х-20/18	134 122 110	18 14 10	20	3
Х-20/31	172 155 140	31 25 19	20	5,5
Х-20/31	160	31	20	7,5
Х-20/53	205 188 170	53 42 32,5	20	11—13
Х-45/21	145 136 128	21 17,5 13,5	45	11—10
Х-45/31	169 155 142	31 25,7 20	45	11—13

Типоразмер насоса	Диаметр рабочего колеса, мм	Развиваемый напор H , м	Производительность Q , м ³ /ч	Мощность электродвигателя N , кВт
Насосы центробежные из специальных коррозионно-стойких сплавов				
X-45/54	218 200	54 42,5	45	30–22 17 18,5
X-45/90	265 250 240	90 80 67	45	55–40 46–30
X-45/240	310 286 262	240 196 153	45	125, 100, 100, 100 75, 75, 75 55, 55, 45
X-90/19	150 138	19 13	90	17–18,5 13–15 -10
X-90/33	182 165	33 25	90	30–22 17–18,5
X-90/49	214 200	49 40,5	90	40–30 22
X-90/85	260 245 225	85 71 57	90	75–55 40–45
X-90/140	332 310 290	140 115 90	90	160–125 100 75
X-160/29*	325 300	29 22	160	55–40 45–30
X-160/49/2*	218 200	49 33	160	75–55 40–41
X-280/29*	328 300	29 21,3	280	75–50 40 45
X-280/72*	520 470 440	72 62 52	280	200–160–132 125–110 -90

Примечание. Насосы, отмеченные *, - на 1450 об/мин, остальные — на 2900 об/мин.

Металл проточной части насосов: А — углеродистая сталь, Д — коррозионно-стойкий чугун марки Ч28, К — хромоникелевая сталь 12Х18Н9Т, Х — 10Х21Н5Т, Е — 10Х17Н13М2Т, Е1 — 08Х21Н6М2Т, И — 06ХН28МДТ или 5Х20Н25МД2ТЛ, Н — ХН54МСД и ХН65МВ.

Фекальные (шламовые) насосы (числитель Q , м³/ч; знаменатель H , м. в. ст.): СД-16/10; СД-16/25; ЦМК-16/27; СД-25/14; СД-32/40; СД-50/10; СД-50/56; СД-80/18; СДВ-80/18; СД-80/32; СДС-80/32; 5 МВ-4×2; СД-100/40; СД-160/45; СДВ-160/45; СД-450/95–2.

Песковые насосы (плотность пульпы до 1300 кг/м³ при содержании твердой составляющей до 25 %): ПР-12,5/12СП; ПВ-40/31,5СП; ПК-63/22,5СП; ПР-63/22,5СП; ПКВП-63/22,5; ПРВП-63/22,5; ПВП-125/60.

Химпокрытия баков

1. Баки химически очищенной воды (На-катионированная вода с содержанием O_2 до 10 мг/л и с $pH \approx 6,5$).

Рекомендуемое покрытие: эпоксидная шпатлевка ЭП-0010 — шесть слоев, отверждение горячим воздухом.

Допускаемые покрытия: а) перхлорвиниловое: грунт ХС-68 — три слоя, лак ХВ-784 с добавкой 5 % эмали, ХВ-785 — 12 слоев, лак ХВ-784 — три слоя;

б) эпоксидная шпатлевка ЭП-0010 — один слой, лак ХВ-784 с добавкой 15 % ЭП-0010 — 10 слоев.

2. Фильтры Na- или H-катионитные.

Рекомендуемое покрытие: обкладка сырой резиной № 1976—4 толщиной 3 мм, по подслою резины № 51—1627 толщиной 1,5 мм. Вулканизация под давлением.

Допускаемые покрытия: обкладка сырыми резинами № 2566 или № 60—34 толщиной 3 мм по подслою резины № 51—1627 или № 6631 толщиной 1,5 мм вулканизация под давлением или перхлорвиниловое покрытие см. выше.

3. Днища водоподготовительных фильтров.

Рекомендуемое покрытие: заливка заполненного инертным наполнителем днища мастикой «Битуиноль» на основе битума БН 90/100 (ГОСТ 6617—76).

4. Баки сбросных вод (кислые и щелочные сбросные воды с концентрацией H_2SO_4 до 2 % или NaOH до 4 %).

Рекомендуемое покрытие: обкладка сырыми резинами № 2566—5 или № 60—341 толщиной 4,5 мм.

Вулканизация открытым способом.

Допускаемые покрытия: см. выше п. 2 при вулканизации открытым способом или перхлорвиниловое покрытие.

5. Баки технической соляной кислоты (концентрация HCl 37 %, температура 15—20 °C).

Рекомендуемое покрытие: см. выше п. 4.

Допускаемые покрытия: см. выше п. 4.

Вулканизация открытым способом.

6. Баки разбавленных кислот (HNO_3 , H_2SO_4 , HCl — 3—5 %-ной концентрации, температура 20—30 °C).

Рекомендуемые покрытия: см. выше п. 4.

Допускаемое покрытие: обкладка сырой резиной № 1976 толщиной 3 мм по подслою резины, № 51—1627 толщиной 1,5 мм. Вулканизация открытым способом.

7. Баки запаса и мерники раствора по-

варенной соли с концентрацией до 10 %, температура 20—30 °C.

Рекомендуемое покрытие: см. выше п. 4.

Допускаемое покрытие: см. выше п. 6 или п. 1.

8. Деаэраторы атмосферного типа (химически очищенная вода с $pH \approx 6,5 \div 9$, температура 104 °C).

Рекомендуемое покрытие: эмаль ВЛ-515 в 6 слоев. Отверждение горячим воздухом.

9. Дренажные баки — баки низких точек (конденсат с $pH \approx 7$, температура 90—95 °C). Допускаемое покрытие: см. выше п. 8.

10. Баки запаса конденсата (очищенный или неочищенный конденсат производственных потребителей пара с $pH \approx 7 \div 9$, температура 50—90 °C).

Рекомендуемые покрытия: эпоксидные смолы ЭД-16 или ЭД-20 с добавкой 25 % графита.

Допускаемые покрытия: при температуре 70—90 °C допускается эмаль ВЛ-515 (см. выше п. 8).

11. Трубопроводы:

а) H-катионированной воды ($pH \approx 2 \div 4$, температура 20—40 °C).

Рекомендуемые покрытия: см. выше п. 2.

Допускаемое покрытие: обкладка сырыми резинами № 6631 или № 51—1627 толщиной 4,5 мм.

Вулканизация под давлением.

б) Na-катионированной воды ($pH \approx 6,5 \div 7$, температура 20—40 °C).

Рекомендуемое покрытие: см. выше п. 1.

Допускаемое покрытие: см. выше п. 1,б:

в) раствора поваренной соли концентраций 10—20 % при температуре 20—40 °C.

Рекомендуемые покрытия: см. выше п. 2.

Допускаемые покрытия: см. выше п. 1;

г) растворов разбавленных кислот H_2SO_4 , HCl, HNO_3 — 5 %-ной концентрации при температуре 15—20 °C.

Рекомендуемые покрытия: см. выше п. 2.

Допускаемое покрытие: см. выше п. 11;

д) соляной технической кислоты при температуре 15—20 °C.

Рекомендуемое покрытие: обкладка сырой резиной № 51—1629 толщиной 4,5 мм. Вулканизация под давлением.

Допускаемое покрытие: см. выше п. 2.

12. Баки-аккумуляторы сетевой воды и воды систем горячего водоснабжения (вода с $pH \approx 6,5 \div 9$, температура 60—90 °C).

Рекомендуемые покрытия: см. выше п. 4; допускаемые: см. п. 2.

Футеровочные работы

1. Спецприямки и фундаменты под баки концентрированных кислот (H_2SO_4 92 %, HCl 37 %, температура 20—30 °С).

Рекомендуемая футеровка: кислотоупорным кирпичом; днище в 1/4 кирпича в 2 слоя, стены в 1/2 кирпича на кислотоупорной силикатной замазке по двум слоям полиизобутилена ПСГ на клее 88-Н.

Допускаемая футеровка: то же, что и выше, но по двум слоям рубероида на нефтебитуме.

2. Полы склада реагентов.

Рекомендуемая футеровка: кислотоупорным кирпичом в 1/4 кирпича на кислотоупорной силикатной замазке с расшивкой швов замазкой типа «Арзамит» по двум слоям полиизобутилена на клее 88-Н.

Допускаемая футеровка: то же, что и выше, но по двум слоям рубероида на нефтебитуме.

3. Фундаменты под насосы цеха водоподготовки и склада реагентов.

Рекомендуемая футеровка: кислотоупорной плиткой толщиной 20—35 мм в 1 слой на замазке «Арзамит-5» по 2-м слоям полиизобутилена ПСГ на клее № 88-Н.

Допускаемая футеровка: допускается замена полиизобутилена ПСГ на рубероид на нефтебитуме, а также замена замазки «Арзамит-5» на кислотоупорную силикатную замазку, но при обязательной расшивке швов замазкой «Арзамит-5».

4. Полы в насосном отделении.

Рекомендуемая: см. выше п. 2.

Допускаемая: см. выше п. 3.

5. Дренажные каналы цеха водоподготовки и склада реагентов.

Рекомендуемая футеровка: то же, что и в п. 1, но с расшивкой швов замазкой «Арзамит-5».

Допускаемая: допускается замена полиизобутилена ПСГ, клея № 88-Н на два слоя рубероида на нефтебитуме.

6. Приямки цеха водоподготовки и склада реагентов.

Рекомендуемая футеровка: то же, что и в п. 1, но на замазке «Арзамит-5».

Допускаемая: то же, что и выше, но с заменой полиизобутилена на рубероид на нефтебитуме, а также с заменой замазки «Арзамит-5» на кислотоупорную силикатную замазку при обязательной расшивке швов замазкой «Арзамит-5».

7. Ячейки мокрого хранения соли (раствор соли концентрацией до 26 %, температура 20—30 °С).

Рекомендуемая футеровка: кислотоупорным кирпичом, днище в 1/4 кирпича в 1 слой, стены в 1/2 кирпича на портландцементном растворе с расшивкой швов замазкой «Арзамит-5» по двум слоям полиизобутилена ПСГ на клее 88-Н.

Допускаемая: при дополнительной футеровке днища кислотоупорным кирпичом в 1/4 кирпича в два слоя на портландцементном растворе с расшивкой швов замазкой марки «Арзамит».

Допускается замена полиизобутилена ПСГ на марку «Бутизол» с мастикой БК или на рубероид на нефтебитуме.

1. Акользин П. А. Коррозия и защита металлов теплоэнергетического оборудования. М.: Энергоиздат, 1982. 304 с.
2. Акользин П. А. Предупреждение коррозии оборудования технического водо- и теплоснабжения. М.: Металлургия, 1988. 96 с.
3. Вихрев В. Ф., Шкроб М. С. Водоподготовка. М.: Энергия, 1973. 416 с.
4. Водоподготовительное оборудование. Отраслевой каталог-справочник. НИИЭинформэнергомаш, М.: 1987.
5. Водоподготовка. Процессы и аппараты/Под ред. О. И. Мартыновой. М.: Атомиздат, 1977. 352 с.
6. Гончаров А. И., Корнилов М. Ю. Справочник по химии. Киев: Вища школа, 1978. 304 с.
7. Дегремон. Технические записки по проблемам воды. Т. 1 и 2. М.: Стройиздат, 1983. 1062 с.
8. Зыков А. К. Паровые и водогрейные котлы. М.: Энергоатомиздат, 1987. 127 с.
9. Инструкция по щелочению паровых и водогрейных котлов. Центрэнергомонтаж. М.: СЦНТИ ОРГРЭС, 1970. 10 с.
10. Инструкция по эксплуатационному анализу воды и пара на тепловых электростанциях. М.: СПО «Союзтехэнерго», 1979. 120 с.
11. Кастаньский А. А. Проектирование устройств для удаления из воды растворенных газов в процессе водоподготовки. М.: Госстройиздат, 1957.
12. Кострикин Ю. М. Инструкция по анализу воды, пара и отложений в теплосиловом хозяйстве. М.: Энергия, 1967. 296 с.
13. Лапотышкина Н. П., Сазонов Р. П. Водоподготовка и водно-химический режим тепловых сетей. М.: Энергоиздат, 1982. 201 с.
14. Лифшиц О. В. Справочник по водоподготовке котельных установок.— 2-е изд. М.: Энергия, 1976. 238 с.
15. Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии.— 3-е изд. М.: Химия, 1967. 391 с.
16. Лосев А. С. Предпусковые очистки оборудования электростанций. М.: Энергоатомиздат, 1985. 164 с.
17. Мещерский Н. А. Контроль водного режима на электростанциях и в котельных. М.: Энергия, 1970.
18. Мещерский Н. А. Организация эксплуатации водоподготовительного оборудования промышленных теплосиловых станций. М.: Госэнергоиздат, 1956. 367 с.
19. Мещерский Н. А. Солемеры. М.: Госэнергоиздат, 1954. 135 с.
20. Мещерский Н. А. Эксплуатация водоподготовок в металлургии.— 3-е изд. М.: Металлургия, 1988. 407 с.
21. Мещерский Н. А., Резник Я. Е. Рекомендации по проектированию складов соли и натрий-катионитных установок с уменьшенным расходом соли на регенерации катионита. М.: Сантехпроект, 1984. 52 с.
22. Обработка воды на тепловых электростанциях / Под ред. В. А. Голубцова, С. М. Гурвича. М.: Энергия, 1966. 444 с.
23. Олиker И. И. Термическая деаэрация воды в отопительно-производственных котельных и тепловых сетях. Л.: Стройиздат, 1972. 187 с.
24. Организация надежного водно-химического режима энергетического оборудования. Водно-химический режим паровых и водогрейных котлов промышленной энергетики. Л.: НПО ЦКТИ, 1988. 48 с. (Тр. НПО ЦКТИ; Вып. 54). Руководящие указания. Вып. 54.
25. Перечень единиц физических величин, устанавливаемых СТ СЭВ 1052—78 и подлежащих применению на энергопредприятиях системы Минэнерго СССР. СПО «Союзтехэнерго», 1980. 28 с.
26. Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами. Минздрав, Минводхоз, Минрыбхоз СССР. Утв. 16.05.75.
27. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей.— 14-е издание. М.: Энергоатомиздат, 1989. 288 с.
28. Пособие для изучения правил технической эксплуатации электрических станций и сетей. Разд. 4 и 5. М.: Энергия, 1980. 463 с.
29. Правила техники безопасности при эксплуатации тепломеханического оборудования электростанций и тепловых сетей. М.: Энергоатомиздат, 1984. 231 с.
30. Рекомендации по предотвращению за-

грязнения водных объектов производственными сточными водами тепловых электростанций. М.: СПО «Союзтехэнерго», 1976. 31 с.

31. **Рихтер Л. А., Волков Э. П., Покровский В. Н.** Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов тепловых электростанций. М.: Энергоиздат, 1981. 296 с.

32. **Сидельковский Л. Н., Юренев В. Н.** Котельные установки промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1988. 523 с.

33. **Смирнов А. Д., Антипов К. М.** Справочная книжка энергетика. М.: Энергоатомиздат, 1987. 566 с.

34. **Справочник** по свойствам, методам анализа и очистке воды / Под ред. Л. А. Кульского. Т. 1 и 2. Киев: Наукова думка, 1980. 1206 с.

35. **Справочник** химика-энергетика. Т. 1. Водоподготовка и водный режим парогенераторов / Под ред. С. М. Гурвича. М.: Энергия, 1972. 456 с.

36. **Стерман Л. С., Покровский В. Н.** Химические и термические методы обработки воды на ТЭС. М.: Энергия, 1981. 232 с.

37. **Типовая** инструкция по эксплуатации химическим очисткам водогрейных котлов. М.: СПО «Союзтехэнерго», 1982. 28 с.

38. **Указатель** действующих отраслевых директивных и инструктивных материалов

Минэнерго, изданных в период с 1962 по 1976 г. (Теплотехническая часть). М.: СПО «Союзтехэнерго». 1978. 28 с.

39. **Эксплуатация** тепловых пунктов систем теплоснабжения / В. П. Витальев, В. Б. Николаев, Г. А. Порывай и др. М.: Стройиздат, 1985. 384 с.

40. **Методические** указания по применению кондуктометрического контроля для ведения водного режима электростанций. М.: СПО «Союзтехэнерго», 1986. 79 с.

41. **Правила** устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов. М.: Энергоатомиздат, 1989.

42. **Правила** технической эксплуатации котельных жилищно-коммунальных хозяйств.— М.: Стройиздат, 1973.

43. **Правила** устройства и безопасной эксплуатации водогрейных котлов водоподогревателей и паровых котлов с избыточным давлением (Оргкоммунэнерго). М.: Стройиздат, 1979.

44. **Системы** противокоррозионных покрытий внутренних поверхностей оборудования, трубопроводов и строительных конструкций тепловых электростанций. М.: Минэнерго СССР, 1981.

45. **СНиП 2.04.07-85.** Тепловые сети. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987.